

5.13.07

Г93

✓

Челябинский политехнический институт  
имени Ленинского комсомола

На правах рукописи

Губайдуллин Герман Асфович

УДК 666.97.04 : 62-52

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ  
ПРОЦЕССОВ ТЕРМООБРАБОТКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ  
ИЗДЕЛИЙ

Специальность 05.13.07 - Автоматизация технологических  
процессов и производств ( в промышленности)

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Челябинск - 1986

Работа выполнена в Государственном научно-исследовательском и проектно-конструкторском институте "Челябинский ПромстройИИпроект".

Научный руководитель - доктор технических наук,  
профессор Гафиятуллин Р.Х.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,  
профессор Вальков Л.С.,  
кандидат технических наук,  
доцент Кошев А.А.

Ведущее предприятие - производственно-технологическое объединение Главсредуралстроя

Зашита состоится "28" января 1987 года в 10 часов на заседании специализированного совета К 053.13.04 в Челябинском политехническом институте, аудитория 244 (454044, г.Челябинск, пр. им.В.И.Ленина, 76).

Автореферат разослан "12" декабря 1986 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета

Сибрин А.П.



## Общая характеристика работы

Актуальность проблемы. В основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986 - 1990 годы и на период до 2000 года, принятых на ХХУП съезде КПСС, отмечена жизненная необходимость всемерной экономии энергоресурсов и интенсификации производства, в частности, за счет создания и широкого внедрения новых, высокоэффективных средств автоматизации.

В промышленности сборного железобетона лимитирующим технологическим переделом является термообработка, занимающая до 80% временных и энергетических ресурсов. Основной резерв повышения эффективности данного технологического передела - дальнейшее совершенствование систем автоматического регулирования (САР) процессов термообработки строительных изделий.

Несмотря на эффективность существующих САР данного назначения, часто качественные характеристики продукции нестабильны, а энергетические и временные затраты значительны. Одной из причин этого является недостаточная точность отработки требуемых режимов, что вызвано преобладающим использованием для целей регулирования косвенной информации, неоднозначно связанной с температурой изделий. Требование повышения точности программного регулирования обусловлено также появлением новых изделий и технологий. Поэтому задачи исследования и повышения эффективности рассматриваемых САР являются актуальными.

Работа выполнена в соответствии с отраслевой научно-технической проблемой 0.55.18.236 Минтяжстроя СССР на 1981-1985 г.г. и планами НИР института "Челябинский ПромстройНИИпроект".

Цель работы. Создание и исследование САР повышенной точности для программной термообработки строительных изделий.

Задачи работы. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Экспериментальные исследования и разработка адекватных математических моделей пропарочной камеры и кассетной установки.
2. Разработка и исследование методов и средств повышения точности и помехоустойчивости программного регулирования процессов термообработки строительных изделий.
3. Создание, исследование и внедрение в производство САР повышенной точности отработки режимов прогрева изделий.

Метод исследования. Для решения поставленных задач использованы методы теории автоматического управления, теории оценивания параметров и состояний, моделирование на ЦВМ, экспериментальные исследования.

Новые научные результаты. Разработаны адекватные уточненные математические модели пропарочной камеры и кассетной установки, учитывающие изменчивость условий теплообмена. Синтезированы устройства оценивания среднемассовой температуры изделий, выполненные в виде наблюдателей Люенбергера (НЛ), определены их точностные характеристики. Создана САР с НЛ для пропарочной камеры и кассетной установки, разработана программа ее моделирования на ЦВМ, позволяющая определить желаемые параметры настройки. Предложен способ повышения помехоустойчивости программного регулирования, защищенный авторским свидетельством № 846540.

Практическая ценность. Разработанные средства повышения точности и помехоустойчивости программного регулирования могут быть использованы как при построении локальных систем, так и в составе автоматизированных систем управления технологическими процессами.

Предложены варианты практической реализации САР с НЛ для пропарочной камеры и кассетной установки. Создан одноканальный регулятор на основе типового блока Р-ЗИМ, модернизированного по авторскому свидетельству № 1007091. Создан также двухканальный универсальный регулятор РТМ-И для строительной площадки и заводов сборного железобетона и многоканальный регулятор РТМ-2М, модификации которого защищены четырьмя авторскими свидетельствами (а.с. № 943667, 1013922, 1087951, 1136123). Разработанные регуляторы способствуют повышению производительности труда, улучшению качества изделий, уменьшению бракованной продукции и экономии теплознергетических ресурсов на 10-20%.

Реализация результатов работы. Разработанные САР изготовлены институтом "Челябинский ПромстройИИпроект", Челябинским участком управления АСУ "Автоматика" Минприбор СССР, опытно-экспериментальным предприятием института "УралИИстромпроект" и внедрены на ряде предприятий стройиндустрии, в частности, на Нижне-Исетском заводе железобетонных изделий Главсредуралстроя, на Миасском заводе крупно-панельного домостроения Главюжуралстроя. Годовой экономический эффект только по двум указанным предприятиям составил 53700 рублей.

К 1987 году планом института "Челябинский ПромстройИИпроект"

предусмотрено изготовление и внедрение десяти регуляторов РТМ-2М. В план внедрения новой техники треста "Оргтехстрой" включено 16 двухканальных регуляторов РТМ-И. Ожидаемый в 1987 году экономический эффект составляет около 350 тысяч рублей.

Разработанные регуляторы демонстрировались на ряде выставок, отмечены бронзовыми и серебряной медалями ВДНХ СССР (1982, 1985 г.г.), грамотой Всемирной выставки в Пловдиве (1985 г.), дипломом I степени ЦС ВОИР и Госкомизобретений СССР (1985 г.).

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на конференции молодых ученых и специалистов "Развитие и совершенствование заводской технологии производства сборного железобетона" (Москва, ВНИИжелезобетон, 1981); на Всесоюзном научно-техническом семинаре "Механизация и автоматизация технологических процессов на предприятиях стройиндустрии и строительных материалов" (Челябинск, 1982 г.); на научно-технической конференции Московского инженерно-строительного института (1982 г.); на конференции молодых ученых и специалистов "Экономия материальных и топливно-энергетических ресурсов, совершенствование заводской технологии производства сборного железобетона" (Москва, ВНИИжелезобетон, 1983 г.); на Всесоюзном научно-техническом семинаре "Экономия топливно-энергетических ресурсов в промышленности сборного железобетона" (Челябинск, 1985 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 22 печатные работы, в числе которых 10 авторских свидетельств.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы (110 наименований) и 3 приложений. Приложения включают листинги программ моделирования и акты внедрения. Основная часть работы содержит 117 страниц машинописного текста, 3 таблицы, 50 страниц иллюстраций.

#### Содержание работы

Во введении обосновываются актуальность темы исследования и основное направление работы, приводятся ~~заключенные~~ положения.

В первой главе проводится анализ общих вопросов технологии ускоренного твердения бетона и физики теплообменных процессов, существующих методов и средств автоматического программного регулирования процессов термообработки строительных изделий, а также особенностей технологических установок.

Задача термообработки изделий состоит из двух подзадач: назначение оптимальных режимов прогрева и их отработка с высокой точностью. В решение первой задачи значительный вклад внесли И.Н.Ахвердов, Д.М.Бутт, Н.А.Крылов, И.А.Малинина, С.А.Миронов, О.П.Мчедлов-Петросян, С.Г.Бергстрем, А. Никанен, Е.Раструп и др. В.Н.Глуховым данная задача решалась на основе стохастического подхода и теории оптимального управления.

Вопросы создания и совершенствования САР данного назначения отражены в работах В.П.Абрамова, В.В.Бубело, И.С.Вайнштока, А.М. Винницкого, В.А.Воробьева, В.Н.Глухова, А.Э.Гордона, А.А.Гришана, А.А.Калмакова, Б.М.Куликова, Ю.Н.Мизрохи, Г.К.Нечаева, А.Р.Соловьевичика и др. Анализ данных работ показал, что задача повышения точности регулирования процесса термообработки по косвенным параметрам в настоящее время не решена.

На основе анализа физики теплообменных процессов и особенностей тепловых установок показано, что свойства пропарочных камер и кассетных установок во многом зависят от исполнения системы пароснабжения и конденсатоотвода. Указанные объекты регулирования обладают нестационарными, а в ряде случаев и нелинейными свойствами. Главной причиной этого является наличие воздуха в теплообменных камерах, что приводит к зависимости условий теплообмена от влажности греющей среды, температурного напора и от гидродинамических условий. Это отмечено А.А.Вознесенским, А.А.Лях, Э.М.Долгим, В.В.Цветковым и др.

Существующие математические модели пропарочной камеры и кассетной установки не дают достаточной детализации, необходимой для учета нестационарных и нелинейных свойств, для оценки степени их адекватности в условиях изменчивости параметров объектов, начального состояния и внешних воздействий. Вскрыты основные причины недостаточной взаимной корреляции температур греющей среды и изделий, особенно на стадии нагрева: существенное различие динамических свойств изделий и среды, нестационарность условий теплообмена, случайный характер начального состояния объекта, нелинейность канала "расход пара - температура греющей среды".

Показано, что применяемое на практике регулирование температуры изделий по косвенной информации не удовлетворяет возросшим требованиям современного уровня технологий производства изделий. Это связано с появлением новых композиционных изделий, применением пластифицирующих добавок в бетоны и т.п.

Вторая глава посвящена разработке уточненных математических моделей пропарочной камеры и кассетной установки.

Модели синтезированы аналитически на основе системы уравнений теплового баланса объекта регулирования при допущении, что его составные элементы имеют сосредоточенные и стационарные параметры. Тепловые потоки выражены в функции времени через теплотехнические и конструктивные параметры посредством закона Фурье для плоского тела. Учтена распределенность параметров изделий и ограждающих конструкций поправочным коэффициентом, полученным Ю.А. Григорьевым, а также экзотермия цемента.

Математические модели получены в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений, которые в матричной форме имеют вид

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{X}}(t) &= \mathbf{A}\mathbf{X}(t) + \mathbf{B}\mathcal{U}(t) \\ y(t) &= \mathbf{C}\mathbf{X}(t); \quad \mathbf{X}(t_0) \end{aligned} \quad \left. \right\} \quad (1)$$

где  $\mathbf{X}(t)$  - вектор состояния, компонентами которого являются температура греющей среды, температура изделий, температура термоформ, температура ограждающих конструкций;  $\mathcal{U}(t)$  - вектор регулирующих воздействий, компонентами которого являются расход пара и температура окружающего воздуха;  $\mathbf{A}$ ,  $\mathbf{B}$  и  $\mathbf{C}$  - матрицы, элементы которых определяются через конструктивные и теплотехнические параметры объектов.

Установлено, что возмущающие воздействия основное влияние оказывают на значения коэффициентов матриц  $\mathbf{A}$  и  $\mathbf{B}$ . Показана возможная нестационарность и нелинейность объектов, вследствие зависимости элементов матрицы  $\mathbf{A}$  от коэффициента теплообмена  $d$  и от управления. Для кассетной установки полная модель имеет третий порядок, для пропарочной камеры - четвертый. Построены структурные схемы кассетной установки, связывающие управление с компонентами вектора состояния, показаны пути понижения порядка модели.

Приведена программа построения на ЦВМ семейства логарифмических частотных характеристик и переходных процессов в объектах регулирования, позволившая проанализировать их свойства и установить влияние на точность воспроизведения вектора состояния изменчивости коэффициента теплообмена, экзотермии цемента и ряда параметров. Пропарочная камера обладает линейными свойствами только при использовании внешней рециркуляции, в других случаях проявляется зависимость  $d = f(\mathcal{U})$ , что приводит к изменению коэффи-

циентов матрицы  $\tilde{A}$ , а также к недостаточной взаимной корреляции температур среды и изделий. Постоянны времена греющей среды и изделий различаются по крайней мере на порядок, а температурный напор "среда - изделие" определяется значением коэффициента теплообмена и управлением. Линейные свойства кассетной установки проявляются только при эффективном гидрозатворе, в других случаях необходима информация об утечках пара, получение которой связано с рядом проблем. Для повышения точности воспроизведения объектов необходимо иметь текущую информацию о коэффициенте  $\alpha$ , о тепловыделении бетона, о начальном значении вектора  $X(t_0)$ .

Проверка данных математических моделей на адекватность объектам произведена на основе сопоставления экспериментальных и расчетных кривых переходного процесса, полученных с помощью ЦВМ для одинаковых  $X(t_0)$  после экспериментального уточнения параметров методом настраиваемой модели. В условиях действующего производства исследовались установки с циркуляцией и без циркуляции теплоносителя, в том числе малоинерционные пропарочные камеры. Среднемассовая температура изделий определялась по результатам измерения 27 термопар, устанавливаемых в верхнее, нижнее и среднее изделие пакета. Температура греющей среды и ограждающих конструкций также определялась усреднением результатов измерений группы термодатчиков, распределенных в объеме камеры. По результатам серии измерений установлено, что максимальное отклонение экспериментальных переходных процессов от расчетных не превышает  $5^{\circ}\text{C}$  в рабочем диапазоне температур.

В третьей главе обосновывается выбор метода повышения точности CAP, синтезируются и исследуются устройства оценивания состояния для пропарочной камеры и кассетной установки, определяются их возможности.

Показано, что для повышения точности косвенного регулирования процесса необходимо иметь оценку среднемассовой температуры изделий, получаемую на основе доступной измерению информации. Рассмотрены варианты получения данной оценки посредством модели объекта регулирования, фильтра Калмана, идентификатора состояния. Для реализации в наибольшей степени пригодным оказался редуцированный наблюдатель (наблюдатель Люенбергера), динамические свойства которого могут быть выбраны в широких пределах.

В качестве доступной измерению информации выбраны: температура теплового отсека, температура греющей среды, температура

ограждающих конструкций и расход теплоносителя. После проверки объектов на идентифицируемость по критериям наблюдаемости и управляемости и анализа сложности НИ определена необходимость понижения порядка математических моделей. Это достигнуто исключением из динамики кассетной установки температуры греющей среды, вследствие незначительности ее влияния. В пропарочной камере изделия и формы объединены в один динамический элемент с эквивалентными параметрами.

Построение НИ выполнено одним из известных методов, основанном на преобразовании исходного уравнения объекта (1). Уравнения, описывающие НИ для кассетной установки имеют вид

$$\begin{aligned} \dot{\bar{x}}(t) = & (\bar{a}_{11} + \bar{l}_1 \bar{l}_2 \bar{a}_{21}) \bar{x}(t) + (\bar{l}_1 \bar{a}_{12} + \bar{l}_2 \bar{a}_{22} - \bar{l}_2 \bar{a}_{11} - \bar{l}_2^2 \bar{l}_1^{-1} \bar{a}_{21}) \bar{x}_2(t) + \\ & + (\bar{l}_1 \bar{b}_{11} + \bar{l}_2 \bar{b}_{21}) \bar{U}_1(t) + \bar{l}_2 \bar{b}_{22} \bar{U}_2(t), \\ \hat{x}_1(t) = & \bar{x}(t) - \bar{x}_2(t) \bar{l}_2 \bar{l}_1^{-1}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\hat{x}_1(t)$  - оценка температуры изделий;  $\bar{x}_2(t)$  - температура отсека;  $\bar{U}_1(t)$  и  $\bar{U}_2(t)$  - расход пара и температура наружного воздуха;  $a_{ij}$  - коэффициенты матрицы  $A$ ;  $\bar{l}_1$ ,  $\bar{l}_2$  - коэффициенты, определяющие динамические свойства НИ.

НИ для пропарочной камеры описывают уравнениями

$$\begin{aligned} \dot{\bar{x}}(t) = & (\bar{a}_{11} + \bar{l} \bar{a}_{21}) \bar{x}(t) + \{\bar{a}_{12} + \bar{l} \bar{a}_{22} + \bar{l} (\bar{a}_{11} + \bar{l} \bar{a}_{21})\} \bar{x}_2(t) + \\ & + \bar{l} \bar{a}_{23} \bar{x}_3(t) + \bar{U}_1(t) \bar{l} \bar{b}_{21}, \\ \hat{x}_1(t) = & \bar{x}(t) - \bar{x}_2(t) \bar{l}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\bar{x}_2(t)$  и  $\bar{x}_3(t)$  - температура греющей среды и ограждающих конструкций;  $\bar{a}_{ij}$  - коэффициенты, полученные после преобразований модели камеры.

Структурная схема НИ пропарочной камеры приведена на рис. 1.

Принятые при разработке математических моделей объектов допущения учитывают следующие факторы: нестационарность коэффициента  $d$ , теплопроводности бетона и экзотермии цемента; изменчивость  $X(t_0)$  и регулирующего воздействия, приведенной массы изделий и др. экспериментальные исследования влияния этих факторов представляют большие трудности, поэтому исследования выполнены на

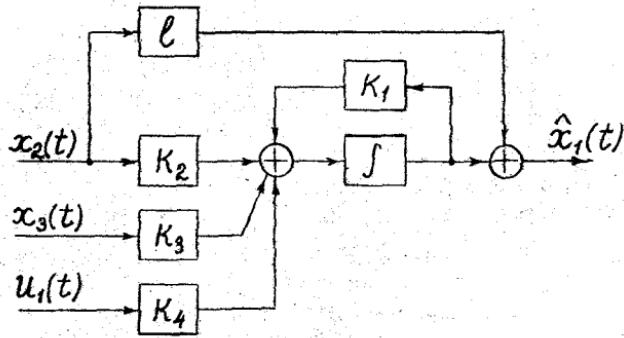


Рис. I

ЦВМ по схеме, приведенной на рис. 2.

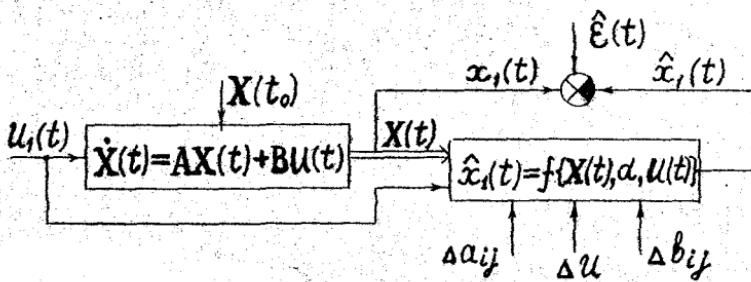


Рис. 2

Получены зависимости ошибки оценивания  $\hat{E}(t)$  от указанных факторов в динамическом режиме при ступенчатом входном воздействии. По НИ для кассетной установки выявлено, что наибольшее влияние оказывает изменчивость расхода пара и теплопроводности бетона. Нестационарность коэффициента теплообмена и экзотермии цемента, изменчивость вектора  $X(t_0)$  практически не влияют на точность оценивания. На точность НИ для пропарочной камеры основное влияние оказывает изменчивость коэффициента  $a$ , причем  $\hat{E}(t)$  увеличивается с ростом  $U_i(t)$ . Нестационарность экзо-

термии цемента, значение компонент вектора  $\mathbf{X}(t_0)$  и ряд других факторов не оказывают существенного влияния на точность оценивания. Динамические свойства наблюдателей оказывают влияние только на время оценивания и на максимальную динамическую ошибку.

Анализ реальных условий работы НИ показал возможность достижения точности оценивания температуры изделий на уровне 2%.

В четвертой главе изложены вопросы исследования САР с НИ на ЦМ, а также вопросы повышения помехоустойчивости программного регулирования инерционных процессов.

Структурная схема САР с НИ приведена на рис.3. Исследования САР с НИ выполнены с использованием ЦМ, моделирующая программа разработана на базе пакета прикладных программ CSMP. При моделировании не учитывались погрешности математического описания объекта и наблюдателя, измерения и преобразования информации. Критерий оценки качества программного регулирования – отклонение действительного значения среднемассовой температуры изделий от заданного графика. Определялось влияние на точность регулирования коэффициента  $\alpha$ , постоянных времени НИ, датчиков информации и исполнительного органа, времени чистого залаздывания  $T$ , амплитуды расхода пара, значений  $\mathbf{X}(t_0)$ , экзотермии цемента, температуры наружного воздуха. Получены соответствующие зависимости. Использовался метод ограниченного перебора для первичного отсева незначащих или малозначащих факторов. Значение факторы варьировались отдельно и в сочетаниях. Диапазоны варьируемых параметров ограничивались реальными условиями эксплуатации. За базовый вариант для сравнения эффективностей принята система непосредственного регулирования температуры изделий. Показана возможность исследования как одноканальной, так и многоканальной САР с НИ.

Анализ и обработка результатов исследования на ЦМ показали, что слабое влияние на точность регулирования оказывают: инерционность датчика температуры ограждающих конструкций, нестационарность тепловыделений цемента, изменчивость  $\mathbf{X}(t_0)$ , температура наружного воздуха, нестабильность и распределенность параметров изделий. Максимальная ошибка от указанных факторов не превышает 0,2°C. время переключения исполнительного органа и

$T$  в наихудшем сочетании дают дополнительную ошибку порядка 0,5°C. Наибольшее влияние на точность регулирования оказывает

изменчивость коэффициента  $d$  и инерционность датчика температуры греющей среды. Оптимальная постоянная времени  $T_1$  находится в пределах  $2 \dots 10$  с. Хорошие результаты получены при использовании малогиерархических термодатчиков, а также датчиков средней инерционности.

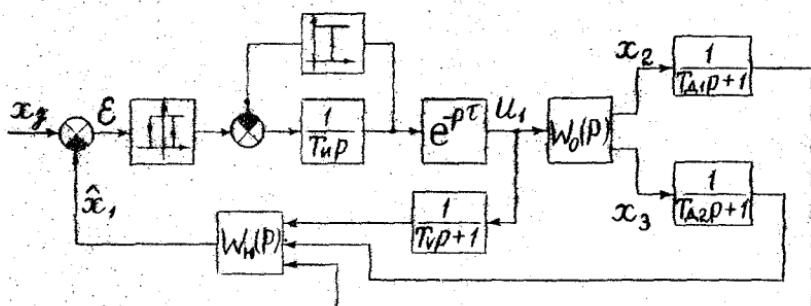


Рис.3

Установлено, что основными путями повышения точности являются выравнивание инерционностей каналов измерения температуры среды и расхода пара, измерение коэффициента  $d$  или учет его нестационарности, снижение запаса по амплитуде расхода пара.

Практика эксплуатации цифровых систем программного регулирования на заводах сборного железобетона показала, что известными средствами помехоподавления не удается полностью исключить нарушения режимов термообработки при случайном воздействии мощных импульсных помех, таких как кратковременные отказы элементов системы и энергопитания, технологические нарушения, электромагнитные помехи и др. Выполнен анализ существующих методов и средств помехоподавления. Показано, что сбои программы могут привести к разрушению изделий и снижению их качества.

Предложен способ повышения помехоустойчивости программного регулирования инерционных процессов, защищенный авторским свидетельством № 846540, который основан на принудительном поддержании ошибки регулирования  $\mathcal{E}(t)$  в заданных пределах за счет коррекции сигнала задания при сбоях в работе. Процесс коррекции осуществляется следующим образом: сигнал  $\mathcal{E}(t)$  не-

прерывно сравнивается с допустимым значением  $\mathcal{E}_0$ ; если в случае воздействия помехи  $\mathcal{E}(t) > \mathcal{E}_0$ , это фиксируется цифровым фильтром  $S(t)$ ; если самовосстановление системы после прохождения помехи не происходит, цифровой фильтр выдает команду на принудительное восстановление сигнала задания до уровня сигнала обратной связи. Цифровой фильтр реализуется в виде

$$\left. \begin{array}{l} S(t) = 1, \text{ при } N \operatorname{sign}\{\mathcal{E}(t) > \mathcal{E}_0\} > K \\ S(t) = 0, \text{ при } N \operatorname{sign}\{\mathcal{E}(t) > \mathcal{E}_0\} < K \end{array} \right\} \quad (5)$$

$t \in [0, 1/f_\phi]$

где  $N$  – число тактовых импульсов, определяющих время действия помехи,  $K$  – объем памяти фильтра,  $f_\phi$  – частота импульсов сброса памяти цифрового фильтра.

Разработан алгоритм помехоподавления для многоканальной системы. Экспериментально получена диаграмма числа отказов в многоканальной системе от воздействия редких импульсных помех за двадцать 12-часовых циклов термообработки. В неблагоприятных производственных условиях зарегистрировано в среднем 2,8 отказов за цикл.

Для периода нагрева экспериментально определены потенциальные возможности данного алгоритма в виде зависимости ошибки программирования от частоты периодических отказов. Построена соответствующая диаграмма. Отказы имитировались кратковременным отключением напряжения питания с частотами в диапазоне  $10^{-2} \dots 10^{-4}$  Гц, при гистерезисе регулирования  $0,5^\circ\text{C}$  и  $\mathcal{E}_0 = 1,5^\circ\text{C}$ . Установлено, что алгоритм эффективен при частотах импульсной помехи ниже  $10^{-3}$  Гц, на частотах выше  $10^{-2}$  Гц наблюдается режим неуправляемости процессом, когда сигнал задания изменяется произвольно.

Предложенный алгоритм помехоподавления исключает грубые нарушения программы термообработки, производит автоматическую установку программы в начальное состояние. В реальных условиях точность отработки программы ухудшается в среднем на  $1-2^\circ\text{C}$  за цикл термообработки. Для уменьшения локальных ошибок от воздействия помех необходимо снижать максимальные динамические ошибки процесса программного регулирования.

Пятая глава посвящена реализациям САР с РИ, ее экспериментальным исследованиям и вопросам внедрения.

Рассмотрены варианты реализации САР с НИ на базе унифицированных средств (КТС ЛИУС-2, "Ремиконт" Р-100) и типовых регуляторов (АЗЭИ-ОГ, Р-31М). Показана возможность практического выполнения такой системы на примере регулятора Р-31М, оснащенного автономными блоками НИ и коррекции программы. Определены возможности аппаратной реализации системы в одноканальном и многоканальном варианте.

На основе анализа технологических условий производства строительных изделий определены следующие функции системы: непрерывное автоматическое измерение температуры греющей среды, среднемассовой температуры ограждающих конструкций, расхода пара и формирование непрерывной оценки среднемассовой температуры изделий; формирование во времени программы термообработки и ее автоматическая установка в начальное состояние, обеспечение автоматической коррекции при воздействии помех и при сбоях; учет особенностей объектов регулирования, их нелинейных свойств, изменчивости условий теплообмена; обеспечение возможности гибкой смены параметров программы и наблюдателя. Определены диапазоны изменения настраиваемых параметров.

Рассмотрены варианты реализации НИ в зависимости от типа объекта регулирования. Для линейных объектов НИ выполнен по исходной схеме (рис.1) алларатными средствами на операционных усилителях. Установлено, что при  $\ell = -1$  выполняется условие  $K_1 = -K_2$  и наблюдатель существенно упрощается. Дополнительное упрощение достигается исключением операции измерения расхода пара при релейном регулировании, а также исключением апериодического звена. Показано, что при  $U_1 = 0$  теплотехнические параметры пропарочных камер наиболее стабильны, а неточности оценивания минимальны.

Приведен алгоритм программного регулирования по оценке температуры изделий, обеспечивающий требуемую точность при минимальных затратах. Заключается он в следующем: с момента запуска системы в работу формируется выдержка, необходимая для завершения переходных процессов; затем следует сигнал, разрешающий измерение оценки температуры изделий; в момент, когда  $E(t)$  превысит гистерезис регулирования формируют импульс пара заданной длительности; далее вновь выдерживается пауза и цикл многократно повторяется, осуществляя релейное регулирование по заданной программе. Длительность каждого импульса пара оп-

ределяют в функции времени паузы предыдущего периода регулирования. К недостатку данного алгоритма относится неконтролируемость процесса нагрева изделий во время действия импульса пара. Достоинством является существенное снижение влияния нестационарности теплообменных процессов, возможность применения для нелинейных объектов, исключение операции измерения расхода пара. Структурная схема максимально упрощенного ИЛ для пароочистной камеры показана на рис.4.

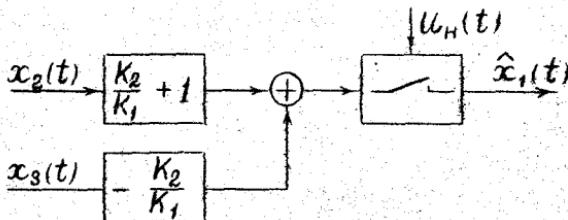


Рис.4

Разработаны и описаны следующие реализации САР:

в одноканальном исполнении на базе типового регулятора Р-ЗИМ, оснащенного автономным ИЛ и блоком коррекции программы;  
двуухканальный универсальный регулятор РТМ-И, предназначенный для термообработки сборного и монолитного железобетона;  
многоканальный регулятор РТМ-2М, блок-схема которого дана на рис.5.

На эти реализации, выполненные на уровне изобретений, имеется в полном объеме техническая документация.

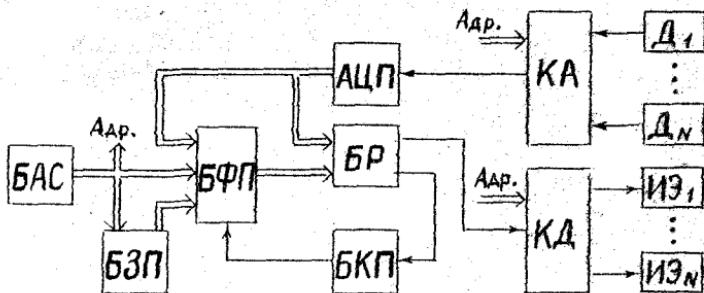


Рис.5

0195708

РТМ-2М построен аппаратно, на интегральных микросхемах, в виде цифрового программного регулятора. В его состав входят: блок адресации и стробирования (БАС), блок задания программ термообработки (БЗП), блок формирования программ (БФП), блок регулирующий (БР), блок коррекции программы (БКП), коммутатор - - мультиплексер аналоговый (КА) коммутатор-демультиплексер (КД), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), датчики информации (Д), исполнительные элементы (ИЭ). В работе приведена функциональная схема регулятора с подробным описанием его работы.

БАС непрерывно формирует коды адресных сигналов и последовательность сграбиющих импульсов в пределах каждого адреса. Последовательно-периодический опрос каналов регулирования осуществляется с помощью адресного сигнала, код которого соответствует номеру коммутируемого канала. БЗП посредством программируемой памяти задает по каждому каналу параметры программы: темп нагрева, уровень изотермы, время цикла. БФП содержит четыре 12-разрядных функциональных элемента: двоичный сумматор, оперативное запоминающее устройство объемом 16 слов, коммутатор, буферную память. Он формирует для каждого канала сигнал задания на участке нагрева с требуемым темпом изменения, работает в режимах "считывания", "записи" и "коррекции". БКП фиксирует сбои в работе САР, воздействуя на БФП, который при этом переписывает в соответствующее информационное слово значение сигнала задания вместо ложной информации. БР реализует релейное управление расходом теплоносителя, воздействуя на ИЭ через КД. Информация от датчиков поступает через бесконтактный 32-канальный КА на вход АЦП и далее на БФП и БКП. Для линейных объектов Д<sub>1</sub> выполнены в виде автономных ИИ на микросхемах К140УД14.

Созданный по результатам исследований регулятор РТМ-2М имеет следующие основные технические параметры: диапазон регулирования - 0 ... 100°C; приборная точность - 0,5°C; количество каналов регулирования - 16; период опроса каналов 0,16с; минимальный гистерезис регулирования и коррекции - 0,5 и 1,0°C; потребляемая мощность 50 Вт, габариты - 0,25 x 0,33 x 0,87; масса - 30 кг.

Приведены функциональная схема и техническое описание двухканального универсального регулятора РТМ-И, выполненного на ос-

нове цифровых микросхем серии К561. Предложена методика настройки САР с НЛ в производственных условиях.

Проведены экспериментальные исследования САР с НЛ, определено влияние на точность программного регулирования процесса термообработки изделий значений постоянных времени термодатчиков, наблюдателя, исполнительного органа, коэффициента теплообмена и амплитуды расхода пара. Получены соответствующие характеристики, хорошо согласующиеся с результатами теоретических исследований. Выполнено сравнение экспериментальных графиков изменения температуры изделий в САР с НЛ и в системе регулирования температуры греющей среды по нескорректированной программе, функционирующих в одинаковых условиях. Показано, что применение САР с НЛ позволяет повысить точность отработки программы в 2-3 раза. Максимальная ошибка при этом не превышает  $5^{\circ}\text{C}$ , достигимая точность регулирования находится на уровне  $3^{\circ}\text{C}$ . Регулирование по температуре греющей среды приводит к существенному отставанию температуры изделий от программного графика, к удлинению цикла термообработки и перерасходу тепловой энергии.

Экономическая эффективность от внедрения результатов диссертационной работы достигается за счет экономии 15-20% тепловой энергии, повышения качества изделий, увеличения производительности технологических установок.

### Заключение

1. В работе показано, что для повышения эффективности автоматического регулирования процессов термообработки строительных изделий необходимо уточнить взаимосвязь компонент вектора состояния объектов, расширить объем априорной и текущей информации.

2. Аналитически получены уточненные математические модели кассетной установки и пропарочной камеры, учитывающие изменчивость условий теплообмена. Экспериментально подтверждена адекватность этих моделей объектам с точностью не хуже  $5^{\circ}\text{C}$ .

3. Синтезированы редуцированные наблюдающие устройства для пропарочной камеры и кассетной установки. Исследованиями на ЦВМ показана принципиальная возможность оценивания среднемассовой температуры изделий с точностью 2% при учете изменчивости условий теплообмена в процессе термообработки.

4. Синтезирована и исследована на ЦВМ структура новой САР с НЛ. Теоретически установлена возможность достижения точности

программного регулирования среднемассовой температуры изделий порядка 3%, что в 2-3 раза превосходит точность систем регулирования температуры греющей среды.

5. Исследовано влияние редких импульсных помех на систему программного регулирования инерционных процессов, показано их разрушающее воздействие на оперативную память програмноносителя. Предложен новый способ подавления этих помех (авторское свидетельство № 846540), основанный на принудительном ограничении ошибки регулирования коррекций сигнала задания. Разработан алгоритм помехоподавления, экспериментально подтверждена его эффективность.

6. Сформулированы требования к САР с НИ, предложены варианты ее реализации на базе типовых средств, в том числе на базе регулятора Р-31М, модернизированного по авторскому свидетельству № 1007091.

7. Разработаны новые технические решения 2-канальной и многоканальной САР, защищенные авторскими свидетельствами №№ 943667, 1013922, 1087951, П36123.

8. Экспериментальными исследованиями САР с НИ в лабораторных и производственных условиях показано, что максимальная ошибка программного регулирования не превышает 5°С, реально достижимая точность составляет 3°С.

9. Разработанные САР внедрены на ряде предприятий сборного железобетона. Экономическая эффективность достигнута за счет повышения производительности технологических установок и сокращения затрат тепловой энергии на 15-20%. Только по двум предприятиям годовой экономический эффект составил 53700 рублей.

10. Созданные регуляторы демонстрировались на ряде выставок, отмечены бронзовыми и серебряной медалями ВДНХ СССР, грамотой Всемирной выставки в Пловдиве (1985г.), дипломом I степени ЦС ВОИР и Госкомизобретений СССР (1985г.).

II. Полученные теоретические и экспериментальные результаты являются предпосылкой для создания адаптивной САР повышенной точности на базе микропроцессорного управления.

Автор считает своим долгом выразить благодарность М.Л.Юдкевичу за постоянную поддержку в процессе выполнения работы.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Гафиятуллин Р.Х., Губайдуллин Г.А. Многоканальный регулятор инерционных процессов // Механизация и автоматизация производства. - 1984. - № 3. - С.18-20.
2. Гафиятуллин Р.Х., Губайдуллин Г.А., Йдкевич М.Л. О выборе регулируемого параметра в процессах тепловлажностной обработки бетона // Совершенствование технологии изготовления строительных конструкций: Тр.ПромстройНИИпроекта. - Красноярск, 1983. - С.97-99.
3. Математическое описание пропарочной камеры с циркуляцией греческой среды /Гафиятуллин Р.Х., Губайдуллин Г.А., Йдкевич М.Л., Алферова Ф.Н. // Совершенствование технологии изготовления строительных конструкций: Тр.ПромстройНИИпроекта. - Красноярск, 1983. - С.89-96.
4. Губайдуллин Г.А., Алферов Г.Д. Помехоустойчивый алгоритм программного управления термообработкой изделий // Исследование строительных конструкций: Тр.ПромстройНИИпроекта. - Красноярск, 1981. - С.40-48.
5. Губайдуллин Г.А. Многоканальная система управления инерционными процессами с алгоритмической коррекцией программы // Исследование автоматизированных электроприводов, электрических машин и вентильных преобразователей: Тр.Челяб.политехн.ин-та. - Челябинск, 1982. - С.134-140.
6. Губайдуллин Г.А. Об управляемости теплообменных процессов при тепловлажностной обработке бетона // Совершенствование строительных конструкций и технология их изготовления: Тр.ПромстройНИИпроекта. - Красноярск, 1982. - С.28-33.
7. Наблюдатель Люенбергера для САР термообработкой изделий в кассетных установках / Губайдуллин Г.А., Йдкевич М.Л., Беседин А.А., Ложкина И.А./Исследование строительных конструкций и технология их изготовления: Тр.ПромстройНИИпроекта. - Красноярск, 1984. - С.42-46.
8. Губайдуллин Г.А. Многоканальная система автоматического управления процессами термообработки железобетонных изделий с адаптивным программирующим устройством //Промышленность сборного железобетона. Сер. 3. Вып. I. - М.: ВНИИЭСМ, 1982. - С.29-30.
9. Губайдуллин Г.А., Алферов Г.Д. Автоматическое управление процессами термообработки железобетонных изделий в ямных камерах и кассетных установках //Механизация и автоматизация технологических процессов на предприятиях стройиндустрии и строительных

материалов: Тез.докл.научн.-техн.конф. УрДНТП. - Челябинск, 1982. - С.29.

10. Губайдуллин Г.А. Система автоматического регулирования процессов термообработки с наблюдателем Лянбергера // Экономия топливно-энергетических ресурсов в промышленности сборного железобетона: Тез.докл.научн.-техн.конф.УрДНТП. - Челябинск, 1985. - С.6-7.

11. Губайдуллин Г.А. Математическое описание кассетно-формовочной установки как объекта управления // Совершенствование строительных конструкций и технология их изготовления: Тр.ПромстройНИИпроекта. - Красноярск, 1982. - С.87-95.

12. Губайдуллин Г.А., Юдкевич М.Л., Беседин А.А. Система с наблюдателем для регулирования режимов пропарочных камер // Исследования строительных материалов и конструкций: Тр. ПромстройНИИпроекта. - Красноярск, 1986. - С.69-77.

13. А.с. 752258 СССР. Устройство для программного регулирования тепловых процессов /Г.А.Губайдуллин, Г.Д.Алферов. - Опубл. 1980, Болл. № 28.

14. А.с. 846540 СССР. Способ автоматического регулирования процессов термообработки бетонных и железобетонных изделий и устройство для его осуществления /Г.А.Губайдуллин, Г.Д.Алферов, А.И.Копп. - Опубл. 1981. Бол. № 26.

15. А.с. 943667 СССР. Многоканальный регулятор тепловых процессов (его варианты)/Г.А.Губайдуллин, Г.Д.Алферов. - Опубл. 1982, Бол. № 26.

16. А.с. 962883 СССР. Многоканальный широтно-импульсный регулятор температуры (его варианты)/Г.А.Губайдуллин, Г.Д.Алферов, М.Л.Юдкевич. - Опубл. 1982, Бол. № 36.

17. А.с. 978111 СССР. Многоканальный широтно-импульсный регулятор температуры (его варианты)/Р.Х.Гафиятуллин, Г.А.Губайдуллин, Г.Д.Алферов. - Опубл. 1982, Бол. № 44.

18. А.с. 1007091 СССР. Устройство программного регулирования температуры /Г.А.Губайдуллин, Г.Д.Алферов, С.В.Ляхов. - Опубл. 1983, Бол. № II.

19. А.с. 1013922 СССР. Многоканальный регулятор тепловых процессов/Г.А.Губайдуллин, Г.Д.Алферов, М.Л.Юдкевич, В.М.Самохвалов. - Опубл. 1983, Бол. № 15.

20. А.с. 1087951 СССР. Многопрограммный регулятор температуры/Г.А.Губайдуллин. Г.Д.Алферов, М.Л.Юдкевич, Б.М.Самохвалов.  
- Опубл. 1984, Бюл. № 15.
21. А.с. 1136123 СССР. Многопрограммный регулятор температуры/Г.А.Губайдуллин, Г.Д.Алферов, А.Т.Дешков, Б.М.Самохвалов.  
- Опубл. 1985, Бюл. № 3.
22. А.с. 847268 СССР. Широтно-импульсный регулятор температуры /Г.А.Губайдуллин, Г.Д.Алферов. - Опубл. в 1981, Бюл.№ 26.



Губайдуллин Герман Асфович

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ  
ПРОЦЕССОВ ТЕРМООБРАБОТКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Специальность 05.13.07 – Автоматизация технологических  
процессов в производстве (в промышленности)

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

---

Подписано к печати 18.11.86. ФБ 21135. Формат 60Х80 1/16. Печ. л. 1,25.  
Уч.-изд. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ 490/1247.

---

УОП ЧПИ. 454044, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.