М388846

НА АБ-1 НЕ ВЫДАЕТСЯ

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское Ордена Ленина и Трудового Красного Знамени высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

на правах рукописи

ВОРОБЬЕВ ГЕННАДИЙ ГЕОРГИЕВИЧ

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ НЕПРЕРЫВНОГО СМЕШЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ

05.13.05. ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва - 1982

Работа выполнена в Куйбышевском специальном конструкторском бюро научно-производственного объединения "Нефтехимавтоматика".

Научный руководитель –
доктор технических наук, профессор Боевкин В.И.

Официальные оппоненты
доктор технических наук, профессор Белов Б.И.
кандидат технических наук Соболев О.С.

Ведущее предприятие – ВНИПИНефть Куйбышевский филиал

Защита состоится 19 апреля на заседании специализированного совета "Вычислительная и информационная техника" МВТУ им. Н.Э.Баумана.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ имени Н.Э.Баумана

...плярах, заверенных
...

...1982 г.

/Иванов С.Р./

М5888846

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. 95-98 % товарной продукции нефтеперерабатывающей промышленности, такой как бензины и керосины, дизельные и котельные топлива, смазочные масла и мазуты и т.п. получаются путем смешения целого ряда исходных компонентов. До недавнего времени на нефтеперерабатывающих предприятиях страны был широко распространен малоэффективный метод периодического смешения по загрузкам.

Изучение вопроса применения передового метода непрерывного смешения компонентов непосредственно в трубопроводе, метода широко внедряемого на предприятиях США, ФРГ, Японии, Франции, Англии показало, что экономический эффект при этом может составить только для отрасли нефтепереработки десятки миллионов рублей в год. К моменту начала данной работы на нефтеперерабатывающих предприятиях СССР применялся исключительно метод периодического смешения, поэтому решение вопросов создания типовой системы К и У процессом непрерывного смешения явилось актуальной и необходимой задачей.

Цель работы. Разработка комплекса специализированных вычислительных устройств на высоком научно-техническом уровне для систем К и У процессом непрерывного смешения нефтепродуктов.

Метод исследования. Теоретические исследования структурных схем разрабатываемых устройств проводились на базе табличных методов теории цифровых автоматов. При оптимизации параметров управления применен градиентный метод с использованием математического аппарата теории чувствительности.

Научная новизна. Разработана методика анализа и построения устройств для выполнения математических операций над информацией, представленной непрерывной число-импульсной последовательностью.

Разработан математический аппарат в виде сдвинутых таблиц входного кода, внутренних состояний, интерполяционных частот и кода управления, описывающий работу целого комплекса специализированных вычислительных устройств.

Практическая ценность. На базе созданного комплекса специализированных вычислительных устройств впервые в СССР разработана структурная схема и математическая модель оптимального управления нового технологического процесса непрерывного смешения нефтепродуктов.

1388846

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1388846
Воробьев Г.Г.Разработка ко

МВТУ
им. Н.Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

Разработанный комплекс специализированных устройств имеет простое схемное решение, обладает большим быстродействием, высокой точностью и надежностью в работе. Устройства просты в эксплуатации и не требуют каких-либо специальных мер и дополнительных затрат при внедрении.

Реализация работы. По материалам настоящей диссертации созданы и внедрены в промышленность высокоточные и высокопроизводительные АСУ ТП непрерывного смешения жидких нефтепродуктов. Экономический эффект от их внедрения на ряде нефтеперерабатывающих заводов страны составляет к настоящему времени свыше 3 миллионов рублей.

Апробация работы. Основные результаты работы были доложены на Всесоюзной конференции, посвященной вопросам применения информационной техники для комплексной автоматизации производственных процессов в нефтехимической промышленности, г. Сумгаит, октябрь, 1970; на городской научно-технической конференции "Автоматизация процессов нефтепереработки и нефтехимии", г. Куйбышев, октябрь, 1974.

Публикации. По результатам исследований опубликовано 8 статей, 2 научно-технических отчета, сделано 4 доклада на научно-технических конференциях, получено 40 авторских свидетельств, 5 иностранных патентов, I свидетельство на промышленный образец.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, библиографии и приложения и содержит: основного текста I38 стр., рисунков и фотографий 54, приложение на 40 стр. Каждая глава, кроме пятой, разбита на параграфы и закончена выводами.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность проводимой работы. Приводится пример перспективного решения задачи оптимального компаундирования в масштабе нефтеперерабатывающего предприятия. Определяется цель настоящей работы - разработка комплекса специализированных вычислительных устройств, образующих систему К и У процессом непрерывного смешения жидких нефтепродуктов, создаваемую в рамках общей иерархической структуры оптимального компаундирования на ее нижней ступени. Материалы диссертации обобщают работы, проведенные автором за период с I968 по I979 год в Куйбышев-

ском СКБ НПО "Нефтехимавтоматика" по разработке и внедрению в промышленность технических средств К и У процессом непрерывного смешения жидких нефтепродуктов.

В первой главе диссертации дается патентно-технический обзор средств К и У процессом непрерывного смешения нефтепродуктов за рубежом и в СССР.

Передовыми странами в области создания систем К и У процессом непрерывного смешения, в основу которых положены цифровые управляющие устройства, являются США, Франция, Англия, ФРГ и Япония. Наиболее интенсивно эти работы ведутся в США. В обзоре приведены данные по 39 ведущей фирме США. Имеются примеры применения УВМ для целей НЦУ процессом смешения, как это сделано на нефтеперерабатывающем заводе фирмы "Humble Oil and Refining " (Батон-Руж, штат Луизиана). Но наибольшее применение нашли системы К и У процессом непрерывного смешения, выполненные на базе одноканальных цифровых регуляторов, которые производят, например, такие всемирно известные фирмы США, как "Fisher and Porter Co", "The Foxboro Co.", "General Electric ".

Из других рассмотренных в приводимом обзоре систем К и У процессом непрерывного смешения наибольшего внимания заслуживает система, разработанная фирмой "CGEE Alsthom " во Франции. Эта система имеет иерархическую (ступенчатую) структуру управления установкой по смешению нефтепродуктов с применением ЭВМ для расчета и записи уставок задания регуляторам каналов.

В СССР работы по этому направлению ведутся в двух организациях научно-производственного объединения "Нефтехимавтоматика": в Рязанском и Куйбышевском специальных конструкторских бюро. В Рязанском СКБ создана система "Поток-I" на базе разработанного специализированного цифрового многоканального регулятора с погрешностью регулирования порядка I %. Но основной упор сделан на систему одноканальных аналоговых регуляторов (системы "Поток-2", "Поток-4") с погрешностью регулирования порядка I,5 %.

В заключении первой главы дается обоснование предмета работы и постановка задачи - этапы разработки комплекса специализированных вычислительных устройств для высокоточной системы К и У процессом непрерывного смешения.

Во второй главе осуществлен функциональный синтез типовой системы К и У процессом непрерывного смешения.

С помощью информационной модели, описанной в матричной форме, делается анализ процесса непрерывного смешения, выводятся основные соотношения материальных потоков при выпуске товарной продукции:

$$\bar{X}_1 = \bar{X}_{вх} \cdot (G \cdot P_G^{(1)} \cdot P_U^{(1)\alpha} \cdot P_A^{(1)});$$

$$\bar{X}_2 = \bar{X}_1 \cdot (G \cdot P_G^{(2)} \cdot P_U^{(2)\alpha} \cdot P_A^{(2)});$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$\bar{Y}_{вых} = \bar{X}_{n-1} \cdot (G \cdot P_G^{(n)} \cdot P_U^{(n)\alpha} \cdot P_A^{(n)}).$$

Здесь G - план-задание является отправной точкой нисходящего потока информации. С помощью оператора $P_G \in P_G^{(1)}, \ldots, P_G^{(n)}$ формируется задание отдельным технологическим участкам общего технологического цикла. Компоненты смешения ($\bar{X}_{вх}$), пройдя последовательность стадий общей технологической цепочки: $\bar{X}_{вх} \to \bar{X}_1 \to \ldots \to \bar{X}_{n-1}$, превращаются в товарные нефтепродукты $\bar{Y}$ вых. Операторы управления: $P_U^{(1)\alpha}, \ldots, P_U^{(n)\alpha}$ вырабатывают управляющие воздействия $\alpha^{(1)}, \ldots \alpha^{(n)}$ для комплексов агрегатов технологических участков $A^{(1)}, \ldots, A^{(n)}$, представленных операторами функционирования $P_A^{(1)}, \ldots, P_A^{(n)}$.

Анализ целого класса процессов смешения нефтеперерабатывающего производства позволил сформулировать для обобщенного расчетного процесса цели управления и технические требования. Основные из этих требований заключаются в следующем:

- общее количество компонентов смешения - до 39,
- общее количество одновременно приготавливаемых продуктов - до 4,
- количество компонентов в одном продукте - до I6,
- дискретность установки задания - единица четвертого десятичного знака,
- погрешность дозировки каждого компонента (без учета погрешности датчиков) не более 0,I %,
- пуск всей системы автоматический, от одной кнопки,
- останов всей системы - автоматический, при выполнении программы смешения, а также при всех нарушениях технологического процесса, приводящих к браку.

Дальнейшая декомпозиция информационной модели процесса непрерывного смешения позволяет выделить из общей структуры управления три подсистемы: систему подготовки смешения, систему управления пуском, систему регулирования расходов компонентов смешения.

Определены функции, решаемые каждой из трех систем. Для системы подготовки смешения это - комплексная автоматизация накопления, учета, хранения компонентов, выбора варианта смешения (маршрута перекачек). Для системы управления пуском это - выполнение таких условий, как одновременная подача всех компонентов в узел (коллектор) смешения и "мягкий" пуск системы, исключающий явление гидравлического удара и "раскачки" компонентов. В первом случае задача решается с помощью логической коммутационной матрицы, которая осуществляет автоматический контроль выполнения ряда условий пуска и выработку серии команд управления. Во втором случае делается вывод о том, что условия "мягкого пуска" должны быть отображены в законе изменения сигнала, вырабатываемого системой регулирования расходов компонентов.

При рассмотрении вопросов функционального синтеза системы регулирования расходов компонентов делается вывод о применении двух вариантов этой системы: универсального, рассчитанного на одновременное приготовление до четырех продуктов, состоящих в общей сложности из 39 компонентов (каналов управления) и более простого варианта - на один продукт с числом компонентов, не превышающим десяти.

Логическим завершением функционального синтеза является составление функциональных схем и обобщенных алгоритмов функционирования рассмотренных подсистем.

Если техническая реализация алгоритмов управления первых двух подсистем есть обычная задача автоматизации, решаемая с помощью обычных средств как релейной, так и бесконтактной техники, то техническая реализация задачи оптимального К и У расходами компонентов процесса непрерывного смешения представляет известную трудность, поскольку такая задача поставлена впервые и ранее не решалась. Решению этой задачи и посвящены остальные главы диссертации.

В заключении второй главы делается анализ объекта управления, который в общем случае представляет собой сложную физическую систему, описываемую нелинейными дифференциальными уравнениями высокого порядка. Однако в данном конкретном случае с доста-

точной степенью точности передаточную функцию объекта управления для каждого канала можно представить апериодическим звеном 2-го порядка:

$$W_{оч}(s) = \frac{200}{(1+3\cdot s)\cdot(1+5\cdot s)}$$

Третья глава диссертации посвящена разработке математической модели системы оптимального управления расходами компонентов смешения и созданию для нее комплекса специализированных вычислительных устройств.

При разработке структурной схемы системы оптимального управления расходами компонентов смешения был применен новый подход. Был использован непрерывный, подобно аналоговым регуляторам, характер работы всей системы, и в то же время получена высокая "цифровая" точность регулирования расходов. Высокая точность регулирования обеспечивается двумя факторами:

- малой "инструментальной" погрешностью за счет цифрового исполнения задающего, измерительного и сравнивающего узлов регуляторов каналов и

- законом регулирования, имеющего астатизм 2-го порядка.

Кроме получения высокой точности регулирования, достоинством системы с астатизмом 2-го порядка является то, что в ней возможно осуществить высокоэффективный контроль правильной работы системы. Этот контроль осуществляется по уровню цифрового интеграла ошибки, который стремится к нулю. Можно заранее и достаточно просто установить контроль нескольких уровней этой ошибки с выделением предупредительного и аварийных сигналов. Осуществить подобный контроль в системах с астатизмом I-го порядка практически не представляется возможным.

С целью автоматического поиска и поддержания максимально возможной производительности системы регулирования независимо от действия возмущающих факторов, был применен дополнительный контур обратной связи с выхода каждого канала регулирования через интегратор на вход генератора производительности. Благодаря наличию этого контура обратной связи решается также задача "мягкого" пуска системы, исключающего явление гидравлического удара и поломку расходомеров.

Другой особенностью разработанной структурной схемы оптимального регулирования расходов является возможность контролиро-

вать процентное соотношение компонентов на любой момент времени. Такого контроля нет в других подобных системах.

В окончательном виде математическая модель системы оптимального управления расходами компонентов смешения в расчете на ведущий и ведомый канал представлена системой дифференциальных уравнений в форме Коши, описывающих движение фазовых координат в пространстве параметров управления: $E, K_1, \ldots, K_6, K_6'$:

$$\dot{y}_1 = K_1 \cdot (E - K_5 y_1 - K_3 y_2 - y_3 + K_5 y_5),$$
$$\dot{y}_2 = K_2 \cdot (y_1 - y_5),$$
$$\dot{y}_3 = K_4 \cdot y_2,$$
$$\dot{y}_4 = 2 \cdot (K_5 y_1 + K_3 y_2 + y_3 - 0{,}167 y_4 - K_5 y_5),$$
$$\dot{y}_5 = 0{,}2 \cdot (K_6 y_4 - y_5),$$
$$\dot{y}_6 = K_2 \cdot (y_1 - y_9),$$
$$\dot{y}_7 = K_4 \cdot y_6,$$
$$\dot{y}_8 = 2 \cdot (K_5 y_1 + K_3 y_6 + y_7 - 0{,}167 y_8 - K_5 y_9),$$
$$\dot{y}_9 = 0{,}2 \cdot (K_6' y_8 - y_9).$$

Сравнительный анализ технического решения задачи К и У процессом непрерывного смешения с помощью УВМ, например, типа М-6000, СМ-I, СМ-2 или с помощью локальных средств, выполненных на современной элементной базе, показывает, что на данном этапе применение УВМ для этих целей нецелесообразно.

Система с локальными средствами К и У имеет большую степень свободы управления, большую надежность работы, проще в схемном решении, имеет меньшие эксплуатационные затраты и меньшую стоимость - порядка 40+50 тыс. рублей против I20+I70 тыс. рублей для УВМ.

В то же время необходимо отметить, что имеющийся на сегодняшний день единственный комплекс локальных устройств, входящих в электронную унифицированную систему приборов автоматического регулирования "Каскад", может обеспечить точность регулирования порядка 3+4 %.

Возникает необходимость создания нового комплекса специализированных вычислительных устройств, обеспечивающих заданную точность (0,I %) и имеющих компактное аппаратурное исполнение.

Анализ разработанной структурной схемы К и У процессом непрерывного смешения позволяет выделить группу устройств, преобразующих информацию, представленную в число-импульсном коде. К та-

ким устройствам можно отнести: масштабное, программное устройства, узел измерения расхода, цифровой интегральный нуль-орган и регулятор, установленные в каждом канале регулирования.

При создании этих устройств было найдено оригинальное техническое решение, отличающееся простотой, надежностью и имеющее единый принцип построения. Основу большинства этих устройств составляет частотный интерполятор. В системе остаточных классов решен и многоканальный цифровой интегральный нуль-орган.

Показано, что применение вновь созданного масштабного устройства, решающего операцию умножения частоты датчика расхода ($f_{вх}$) на коэффициент масштабирования ($K_м$): $f_q = f_{вх} \cdot K_м$, взамен масштабного устройства, которым снабжен турбинный расходомер типа "Турбоквант", широко применяемый в настоящее время, позволяет повысить быстродействие в 1000 раз. Разработан математический аппарат в виде сдвинутых таблиц входного кода ($f_{\sim}$), внутренних состояний ($\bar{Q}$), интерполяционных частот ($d\bar{Q}^{\sim}$) и кода управления (K), который позволяет достаточно просто и с наибольшей наглядностью описать работу декады масштабного, программного устройств и узла измерения расходов. Приведен пример аналитического выражения выходного сигнала для декады масштабного устройства в логической символике, которое обладает меньшей наглядностью, но имеет более компактную форму (рис.).

Кроме операции программирования сигнала с датчика расхода ($f_q \cdot K_з$), аналогичной операции масштабирования, в программном устройстве осуществляются также дополнительные операции по расчету коэффициента заданного соотношения ($K_з$) и автоматический контроль дозы готового продукта. Показано, что для выбранного принципа работы программного устройства коэффициент $K_з$ определяется по формуле $K_з = 10^m / V$, где V – объем данного компонента в смеси, m – целое число ряда 1,2,3..., зависящее от масштаба дозы. Подобно узлу масштабирования и программирования узел деления выполнен на частотном интерполирующем устройстве, имеющем универсальный для операций умножения и деления принцип действия. Для разработанного программного устройства алгоритм работы узла контроля дозы готового продукта имеет вид: $N = f_{гп} \cdot T = 10^m$, где N – общее количество импульсов частоты генератора производительности ($f_{гп}$), выработанное за все время смешения (T). Нетрудно видеть, что роль контролера дозы выполнит обычный счетчик емкостью 10^m, где его импульс переполнения является сигналом на останов системы. Одновременно текущая

Таблица формирования сетки интерполяционных частот декады счетчика масштабного устройства

f_q число-импульсный код	Статический код декады счетчика				Динамический код декады счетчика			
	$\bar{Q}_4$	$\bar{Q}_3$	$\bar{Q}_2$	$\bar{Q}_1$	$d\bar{Q}_4^{(-)}$	$d\bar{Q}_3^{(-)}$	$d\bar{Q}_2^{(-)}$	$d\bar{Q}_1^{(-)}$
0								
1	1	1	1	1				1
2	1	1	1	0			1	
3	1	1	0	1				1
4	1	1	0	0		1		
5	1	0	1	1				1
6	1	0	1	0			1	
7	1	0	0	1				1
8	1	0	0	0	1			
9	0	1	1	1				1
10	0	1	1	0				
	1	1	1	1				

Таблица формирования кода управления

$K_м$ в десятичной символике	$K_м$ в двоично-десятичной символике				$(K_м)$ y_6 - в логической символике
	$K_4(d\bar{Q}_1)$	$K_3(d\bar{Q}_2)$	$K_2(d\bar{Q}_3)$	$K_1(d\bar{Q}_4)$	
0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	$d\bar{Q}_3$
2	0	0	1	1	$d\bar{Q}_3 \vee d\bar{Q}_4$
3	0	1	0	1	$d\bar{Q}_2 \vee d\bar{Q}_4$
4	0	1	1	1	$d\bar{Q}_2 \vee d\bar{Q}_3 \vee d\bar{Q}_4$
5	1	0	0	0	$d\bar{Q}_1$
6	1	0	1	0	$d\bar{Q}_1 \vee d\bar{Q}_3$
7	1	0	1	1	$d\bar{Q}_1 \vee d\bar{Q}_3 \vee d\bar{Q}_4$
8	1	1	0	1	$d\bar{Q}_1 \vee d\bar{Q}_2 \vee d\bar{Q}_4$
9	1	1	1	1	$d\bar{Q}_1 \vee d\bar{Q}_2 \vee d\bar{Q}_3 \vee d\bar{Q}_4$

Таблица выхода

Рис

информация с этого счетчика служит целям непрерывного контроля процентного соотношения дозируемых компонентов и процента выполнения программы по общей дозе.

Также на базе частотного интерполирующего устройства создан многоканальный цифровой измеритель мгновенного расхода - следящий частотомер. Алгоритм его работы в операторном виде имеет вид:

$$K_q \cdot S + K_q \cdot f_{эг} = f_q ,$$

где $f_{эг}$ - частота эталонного генератора,
K_q - число, записываемое в счетчике измерительной схемы.
В установившемся режиме: $f_q = K_q \cdot f_{эг}$.

Применение дополнительной схемы ускорения позволило повысить быстродействие измерителя расхода в десятки раз.

Центральное место в цифровой структуре входа каждого канала регулирования занимает многоканальное цифровое сравнивающее устройство. Алгоритм его работы по одному каналу имеет вид:

$$X = K_{ц\text{-}а}\int_0^t [(f_{гп} - N^* \cdot n) - (f_q K_з - N^* \cdot n)]dt = K_{ц\text{-}а}\int_0^t (f_{гп} - f_q K_з)dt ,$$

где: $K_{ц\text{-}а}$ - коэффициент преобразования ЦАП,
N^* - число, равное 0,5 емкости счетчика ЦАП,
n - число периодов срабатывания нормирующего устройства.

Выполнение этого устройства в системе остаточных классов на счетчиках прямого счета обеспечило ему высокую надежность работы и простое схемное решение.

Наличие цифровой структуры входа снизило требования к выходным аналоговым узлам регулятора. Так узел, формирующий составляющие регулирующего воздействия пропорциональные интегралу ($И$) и двойному интегралу ($И_И$) от ошибки, выполнен на одном операционном усилителе с передаточной функцией:

$$W_{ИИ_И} = -\left(\frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{R_1 \cdot C \cdot S}\right)$$

Узел формирования пропорциональной составляющей регулирующего воздействия выполнен на базе диодно-емкостного частотно-аналогового преобразователя с выходным масштабным (операционным) усилителем с передаточной функцией, имеющей окончательный вид:

$$W_п = - U_{вх} \cdot C_1 \cdot R_з ,$$

где: $U_{вх}$ – амплитуда импульсов сравниваемых частот,
C_1 – дозирующая емкость,
$R_з$ – резистор в цепи обратной связи масштабного усилителя.

Регистрация контролируемых параметров осуществляется с помощью цифропечати автоматически при всех остановах системы, либо по вызову в любой момент времени. Одновременно печатаются все параметры, относящиеся к приготавливаемому продукту.

Четвертая глава посвящена вопросу оптимизации параметров управления математической модели системы регулирования расходов компонентов смешения. Общая задача определения оптимальных параметров управления системы регулирования расходов сформулирована в рамках теории чувствительности. Решение этой задачи осуществлено с помощью градиентного метода наискорейшего спуска.

Рассмотрены и проанализированы различного рода критерии оптимизации. Основное внимание-критериям качества переходного процесса. Делается вывод о том, что для подобных систем, обладающих астатизмом 2-го порядка, критерию оптимизации переходного процесса наилучшим образом отвечает видоизмененный (усиленный) функционал – минимум интегральной оценки квадрата суммарной (интегральной) ошибки переходного процесса:

$$J_o = \int_o^{t_1} \left(\int_o^{t_1} x(t) dt \right)^2 dt = min.$$

Осуществлено исследование задачи оптимизации для общего случая. Такой путь наглядно демонстрирует возможность практического применения математического аппарата теории чувствительности для целей оптимизации параметров управления любых систем подобного рода.

Пусть имеем систему дифференциальных уравнений фазовых координат и функционала в форме Коши, описывающих движение исследуемой системы в пространстве вектора управления $\overline{K}$:

$$\frac{dy_i}{dt} = f_i(y_i, K_j, t); \; i = 0,1,\ldots,n; \; j = 1,\ldots,m. \qquad (4.I)$$

Возьмем частные производные от системы уравнений (4.I), по параметрам управления:

$$
\text{по } K_1 \begin{cases} \dot{U}_{K_1}^{y_0} = \dfrac{\partial f_0}{\partial y_1} \cdot U_{K_1}^{y_1} + \ldots + \dfrac{\partial f_0}{\partial y_n} \cdot U_{K_1}^{y_n}; \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \dot{U}_{K_1}^{y_n} = \dfrac{\partial f_n}{\partial y_1} \cdot U_{K_1}^{y_1} + \ldots + \dfrac{\partial f_n}{\partial y_n} \cdot U_{K_1}^{y_n} + \dfrac{\partial f_n}{\partial K_1}; \end{cases}
$$

$$
\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (4.2)
$$

$$
\text{по } K_m \begin{cases} \dot{U}_{K_m}^{y_0} = \dfrac{\partial f_0}{\partial y_1} \cdot U_{K_m}^{y_1} + \ldots + \dfrac{\partial f_0}{\partial y_n} \cdot U_{K_m}^{y_n}; \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \dot{U}_{K_m}^{y_n} = \dfrac{\partial f_n}{\partial y_1} \cdot U_{K_m}^{y_1} + \ldots + \dfrac{\partial f_n}{\partial y_n} \cdot U_{K_m}^{y_n} + \dfrac{\partial f_n}{\partial K_m}. \end{cases}
$$

здесь: $U_{K_j}^{y_i} = \dfrac{\partial y_i}{\partial K_j}$ – чувствительность фазовой координаты y_i к параметру управления K_j.

Получена математическая модель чувствительности исследуемой системы к параметрам управления, ее совместное решение с системой уравнений (4.I) дает численные значения чувствительностей функционала ($U_{K_1}^{y_0}, \ldots, U_{K_m}^{y_0}$), которые являются составляющими градиента функционала $\nabla_K J_0$. Вектор направления градиента задается выражением:

$$
\bar{D}_{K_j} = \frac{1}{M_{K_j}} \begin{Vmatrix} U_{K_1}^{y_0} \\ \vdots \\ U_{K_m}^{y_0} \end{Vmatrix}
$$

где: $M_{K_j} = \sqrt{(U_{K_1}^{y_0})^2 + \ldots + (U_{K_m}^{y_0})^2}$ – модуль градиента.

Вектор поправок параметров управления определяется выражением:

$$\Delta \bar{K}_j = -h \frac{U^{yc}_{Kj}}{M_{Kj}} ;$$

где: h – постоянная, ее величина выбирается исследователем.

Сравнивая значения функционала на каждом шаге оптимизации, находим число N такое, что

$$J_o[K_1+(N-1)\Delta K_1; \ldots; K_m+(N-1)\Delta K_m] > J_o[K_1+N\Delta K_1; \ldots; K_m+ N\Delta K_m] \leq J_o[K_1+(N+1)\Delta K_1; \ldots; K_m+(N+1)\Delta K_m].$$

Поиск заканчивается, если $|J_o^{N+1} - J_o^N| \leq \varepsilon$, где ε – выбранное нами малое число.

Алгоритм решения задачи оптимизации, построенный на итерациях достаточно прост и для случая совместного решения дифференциальных уравнений в количестве до 30 (в нашем случае 28) может быть реализован на ЭВМ "Наири-2М" с помощью стандартных программ.

Результаты проведенной оптимизации, отображенные с помощью различного рода графиков, доказывают высокую эффективность метода.

В пятой главе диссертации приводятся результаты разработки и внедрения системы К и У, созданной по материалам настоящей диссертации в АСУ ТП непрерывного смешения жидких нефтепродуктов на ряде нефтеперерабатывающих заводов страны. Приводятся фотографии различных устройств и узлов этой системы.

В приложении дается справка-акт экономической эффективности внедрения изобретений автора в системе К и У процессом непрерывного смешения и результаты экономических расчетов от внедрения систем К и У процессом непрерывного смешения, указанных в таблице справки-акта.

Основные результаты работы

I. Основным результатом проделанной работы является разработка комплекса специализированных вычислительных устройств, на базе которых впервые в СССР разработана высокоэффективная цифровая система К и У процессом непрерывного смешения жидких нефте-

продуктов. Экономический эффект от ее внедрения на ряде нефтеперерабатывающих заводов страны превысил в настоящее время 3 миллиона рублей.

2. В результате исследования технологического процесса смешения как объекта автоматизации разработаны основные требования к техническим средствам К и У процессом непрерывного смешения, которые учитывают такую специфическую характеристику объекта, как функция изменяющейся во времени случайной величины.

3. На базе табличных методов теории цифровых автоматов разработана методика анализа и построения устройств для выполнения математических операций над информацией, представленной непрерывной число-импульсной последовательностью.

4. Разработан математический аппарат в виде сдвинутых таблиц входного кода, внутренних состояний, интерполяционных частот и кода управления,позволяющий наиболее просто и с большой наглядностью описать работу целого класса цифровых устройств.

5. Разработан комплекс специализированных вычислительных устройств, осуществляющих техническую реализацию задачи оптимального управления процессом непрерывного смешения. Эти устройства имеют простое схемное решение, обладают большим быстродействием и надежностью в работе по сравнению с существующими средствами для подобных целей.

6. Разработана структурная схема и математическая модель оптимального управления расходами компонентов смешения. Осуществлено исследование задачи оптимизации параметров управления системы регулирования расходов компонентов с помощью математического аппарата теории чувствительности.

7. Приведены практические результаты по внедрению в промышленность системы К и У процессом непрерывного смешения, созданной по материалам настоящей диссертации. В процессе создания системы автор на отдельные узлы, устройства и другие схемные решения получил свыше 40 авторских свидетельств, 5 зарубежных патентов, свидетельство на промышленный образец, награжден одной серебрянной и двумя бронзовыми медалями ВДНХ СССР.

Основные материалы диссертации опубликованы в следующих работах:

I. Воробьев Г.Г. Автоматическое непрерывное компаундирование жидких нефтепродуктов. I городская и У филиала НИИСС научно-техническая конференция молодых ученых-химиков (октябрь 1968 г.):

Тез.докл. /Куйбышевское обл. правл. Менделеевского о-ва. - Новокуйбышевск, 1968, с. 57-58.

2. Воробьев Г.Г. Автоматическая цифровая система непрерывного смешения жидких нефтепродуктов. Всесоюзная конференция, посвященная вопросам применения информационной техники для комплексной автоматизации производственных процессов в нефтехимической промышленности (г.Сумгаит, октябрь 1970 г.): Тез.докл. /ЦНИИинформации и технико-эконом. исслед. приборостроения, средств автоматиз. и систем управл. - М., 1970, с. 22-24.

3. Воробьев Г.Г. Автоматическая система К и У процессом непрерывного смешения. Городская научно-техническая конференция "Автоматизация процессов нефтепереработки и нефтехимии" (октябрь 1974 г.): Тез.докл. /Куйбышевское обл. правл. НТО НГП, - Куйбышев, 1974, с. 102-104.

4. Воробьев Г.Г. Анализ технологического процесса смешения как объекта автоматизации с помощью информационной модели. В сб.: Автоматизация процессов нефтепереработки и нефтехимии: Труды /К СКБ НПО НХА, - Куйбышев, 1981, вып. 4, с. 109-120.

5. Воробьев Г.Г. Об одной математической модели оптимального управления расходами компонентов при смешении: Труды /К СКБ НПО НХА, - Куйбышев, 1981, вып. 4, с. 136-148.

6. Воробьев Г.Г.,Боевкин В.И. Об одном методе исследования задачи оптимизации параметров управления системы регулирования расходов компонентов при смешении. В сб.: Автоматизация процессов нефтепереработки и нефтехимии: Труды /К СКБ НПО НХА, - Куйбышев, 1981, вып. 4, с. 121-135.

7. Воробьев Г.Г., Боевкин В.И. Об одном классе устройств преобразования информации, представленной число-импульсным кодом. В сб.: Автоматизация процессов нефтепереработки и нефтехимии: Труды /К СКБ НПО НХА, - Куйбышев, 1981, вып. 4, с. 263-279.

8. Воробьев Г.Г., Порунов А.И., Нефедов В.К. Опыт внедрения и эксплуатации автоматизированной системы компаундирования высокооктановых бензинов на Куйбышевском НПЗ. В сб.: Автоматизация процессов нефтепереработки и нефтехимии: Труды:/К СКБ НПО НХА, - Куйбышев, 1974, вып. 2, с. 263-279.

9. Воробьев Г.Г. Быстродействующий следящий частотомер. - ПТЭ, 1981, № 4, с. 145-148.

10. А.с. 303621 (СССР). Цифровое программное устройство /Г.Г.Воробьев - Опубл. в Б.И., 1971, № 16.

11. А.с. 328272 (СССР). Система регулирования соотношения параметров /Г.Г.Воробьев - Опубл. в Б.И., 1972, № 6.

12. А.с. 341017 (СССР). Система регулирования соотношения параметров для технологических процессов /Г.Г.Воробьев - Опубл. в Б.И., 1972, № 18.

13. А.с. 360663 (СССР). Множительно-делительное устройство /Г.Г.Воробьев - Опубл. в Б.И., 1972, № 36.

14. А.с. 378843 (СССР). Сумматор /Г.Г.Воробьев, А.П.Наумчук - Опубл. в Б.И., 1973, № 19.

15. А.с. 393693 (СССР). Многоканальный частотомер /Г.Г.Воробьев - Опубл. в Б.И., 1973, № 33.

16. А.с. 416840 (СССР). Умножитель частоты /Г.Г.Воробьев - Опубл. в Б.И., 1974, № 7.

17. А.с. 554530 (СССР). Система регулирования соотношения параметров технологических процессов /Г.Г.Воробьев, Л.П.Муравлев - Опубл. в Б.И., 1977, № 14.

18. А.с. 565259 (СССР). Цифровой частотомер /Г.Г.Воробьев - Опубл. в Б.И., 1977, № 26.

19. А.с. 566241 (СССР). Устройство для программного управления /Г.Г.Воробьев - Опубл. в Б.И., 1977, № 27.

20. А.с. 664030 (СССР). Устройство для измерения расхода жидкости /Г.Г.Воробьев - Опубл. в Б.И., 1979, № 19.

21. А.с. 696421 (СССР). Многоканальное устройство для управления процессом смешения компонентов /Г.Г.Воробьев - Опубл. в Б.И., 1979, № 41.

22. А.с. 741443 (СССР). Умножитель частоты импульсов /Г.Г. Воробьев - Опубл. в Б.И., 1980, № 25.

23. А.с. 746511 (СССР). Множительно-делительное устройство /Г.Г.Воробьев - Опубл. в Б.И., 1980, № 25.

Подписано к печати 5.08.82 г. ЕО01151. Формат 60х84 1/16
Печать оперативная. Уч.-изд.л. 1. Тираж 100 экз. Заказ № 1310

Областная типография им. Мяги. г. Куйбышев, ул. Венцека, 60.