



4858916

Агринская Светлана Анатольевна

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕМПЕРАТУРНЫМ ПРОФИЛЕМ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ
ТАРЕЛЬЧАТОГО ТИПА**

05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и
производствами (в энергетике)

- 3 НОЯ 2011

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва, 2011

Работа выполнена в филиале Московского энергетического института
г. Волжском.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Шевчук Валерий Петрович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Большаков Александр Афанасьевич;

кандидат технических наук
Бельчанская Елена Николаевна.

Ведущая организация: Волгоградский государственный
технический университет

Защита состоится « 17 » ноября 2011 г. в 14 час. 00 мин. на заседании
диссертационного совета Д 212.157.14 при Московском энергетическом ин-
ституте по адресу:

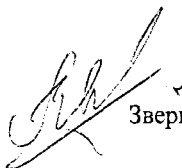
Москва, ул. Красноказарменная, д.14, Малый актовй зал МЭИ Б-205.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МЭИ.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим
направлять по адресу: 111250, Москва, ул. Красноказарменная, д.14, Ученый
совет МЭИ.

Автореферат разослан « 14 » октября 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Зверьков В.П.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время большое значение приобретают проблемы повышения экономической эффективности ректификационных установок, применяемых для разделения жидких смесей на чистые компоненты. Процесс ректификации широко распространён в производстве жидких топлив из нефти, синтетического каучука и полимерных волокон, в пищевой, фармацевтической и других отраслях промышленности. В современных ректификационных установках весьма остро стоит проблема адаптивного управления и непрерывного получения информации о свойствах параметров технологического процесса для функционирования алгоритмов адаптации. В связи с этим необходимым элементом АСУ становятся математические модели объекта управления и моделей измерительных сигналов, участвующих в алгоритмах управления и алгоритмах адаптации, позволяющие оперативно прогнозировать текущее состояние объекта управления.

Следует отметить, что большая часть ректификационных установок представляет собой массивные аппараты, обладающие большой инерционностью, что необходимо учитывать при разработке адаптивных алгоритмов управления. Поэтому **актуальными** являются вопросы количественной оценки эффективности и работоспособности адаптивных алгоритмов управления. Эти оценки можно получать методами имитационного моделирования с использованием алгоритмов визуализации процесса управления, которые значительно повышают уровень информативности и, тем самым, позволяет повысить эффективность управленческих решений. Работа выполняется в рамках проекта РФФИ №10-08-00125-а [3].

Целью работы является повышение качества управления процессом ректификации за счет применения адаптивных алгоритмов управления.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Провести анализ технологического процесса, технических средств автоматизации и способов управления технологическим процессом ректификации и провести количественно обоснованный выбор критерия управления ректификационной колонной.

2. Разработать математические модели элементов системы управления, включая модели измерительной информации, которые могут достоверно характеризовать критерий управления.

3. Разработать алгоритм жесткой стабилизации температуры куба колонны.

4. Разработать алгоритм жесткой стабилизации температуры верхней тарелки колонны.

5. Разработать алгоритм оптимального управления температурным профилем колонны.

6. Исследовать эффективность алгоритма оптимального управления методами имитационного моделирования в условиях дрейфа характеристик объ-

екта управления, помех измерения и качества стабилизации температуры верха и температуры низа ректификационной колонны.

Методы исследования. При выполнении работы использовались методы анализа качества и устойчивости из теории автоматического управления, методы проведения активного и пассивного экспериментов из теории эксперимента, а также методы математического и имитационного моделирования.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

1. Предложен критерий управления температурным профилем ректификационной колонны тарельчатого типа, который заключается в вычислении текущего значения невязки профиля температур, измеренного на объекте управления и профиля температур прогнозируемого по математической модели [9, 17].

2. Предложена математическая модель формирования температурного профиля по высоте колонны, которая состоит из автономной модели нижней части температурного профиля колонны, математической модели верхней части температурного профиля колонны и модели тарелки питания [3, 8, 11, 17].

3. Предложен алгоритм жесткой стабилизации нижней точки температурного профиля колонны, отличающийся от известных алгоритмов тем, что заданием регулятору температуры куба колонны служит измерительный сигнал концентрации кубового остатка.[1, 6, 7].

4. Предложен алгоритм жесткой стабилизации верхней точки температурного профиля колонны, отличающийся от известных алгоритмов тем, что заданием регулятору температуры верха колонны служит измерительный сигнал концентрации дистиллята [1, 4, 5].

5. Предложен алгоритм оптимального управления температурным профилем колонны, отличающийся от известных тем, что заданием регулятору температуры тарелки питания служит величина невязки измеренного и прогнозируемого профилей температур по высоте колонны [1, 17, 18].

6. Предложена методика имитационного моделирования процессов управления температурным профилем ректификационной колонны тарельчатого типа [17].

Практическая значимость работы. Основные результаты диссертационного исследования, имеющие практическую значимость, заключаются в следующем:

1. Разработан пакет прикладных программ для проверки адекватности моделей.

2. Разработан пакет прикладных программ для имитационного моделирования работы колонны в режиме реального времени.

3. Разработан пакет прикладных программ для визуализации процессов управления в ректификационной колонне.

4. Разработан стенд, имитирующий работу алгоритма оптимального управления температурным профилем ректификационной колонны.

Соответствие паспорту специальности. Указанная область исследования соответствует паспорту специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в энергетике)», а именно: пункту 4 – «Теоретические основы и методы математического моделирования организационно-технологических систем и комплексов, функциональных задач и объектов управления и их алгоритмизация»; пункту 5 – «Теоретические основы, средства и методы промышленной технологии создания АСУТП, АСУП, АСТПП и др.»; пункту 6 – «Научные основы, модели и методы идентификации производственных процессов, комплексов и интегрированных систем управления»; пункту 10 – «Методы синтеза специального математического обеспечения, пакетов прикладных программ и типовых модулей функциональных и обеспечивающих подсистему АСУТП, АСУП, АСТПП и др.»; пункту 13 – «Теоретические основы и прикладные методы анализа и повышения эффективности, надежности и живучести АСУ на этапах их разработки, внедрения и эксплуатации».

Апробация результатов работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Всероссийской научно-практической конференции «Интеллектуальные измерительные системы в промышленности Южного региона» (г. Волжский, 2007 г.), Второй Всероссийской научно-практической конференции «Ресурсо-энергосбережение и эколого-энергетическая безопасность промышленных городов» (г. Волжский, 2008 г.), V Всероссийской научно-практической конференции (г. Волгоград, 2008 г.), XV Межвузовской научно-практической конференции молодых ученых и студентов (г. Волжский, 2009 г.), Шестнадцатой Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» (г. Москва, 2010 г.), Семнадцатая Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» (г. Москва, 2011 г.).

Внедрение результатов работы. Результаты работы в виде пакетов прикладных программ используются в учебном процессе в виде лабораторного практикума при изучении дисциплин «Автоматизация технологических процессов и производств», «Интегрированные системы проектирования и управления» и «Моделирование динамических систем».

Достоверность результатов исследований основана на экспериментальных данных, полученных в технологическом процессе очистки метил-трет-бутилового эфира на ОАО «Волжский Каучук» пассивными и активными методами. Эксперименты по проверке работоспособности алгоритмов управления проводились методом имитационного моделирования в условиях наиболее приближенных к реальным с учетом дрейфа характеристик и помех измерения.

Положения, выносимые на защиту.

1. Критерий управления температурным профилем ректификационной колонны тарельчатого типа [9, 17].

2. Математическая модель формирования температурного профиля по высоте колонны [3, 8, 11, 17].

3. Алгоритм управления температурным профилем по высоте колонны [1, 3, 18].

4. Алгоритм жесткой стабилизации нижней точки температурного профиля ректификационной колонны [1, 6, 7].

5. Алгоритм жесткой стабилизации верхней точки температурного профиля ректификационной колонны [1, 4, 5].

6. Методика имитационного моделирования процессов управления температурным профилем ректификационной колонны тарельчатого типа [3].

7. Алгоритмы визуализации процесса управления ректификационной колонной [2, 12, 14].

Публикации. Всего по теме диссертации опубликовано 18 научных работ, в том числе: 2 в журналах перечня ВАК, отчет с государственным номером регистрации (грант РФФИ № 10-08-00125-а). Кроме того, получен патент на полезную модель и подана заявка на изобретение.

Лично автором проведены следующие этапы научного исследования:

1. Произведен выбор критерия управления процессом ректификации по эффективности работы.

2. Разработаны математические модели нижней и верхней частей температурного профиля колонны и проверены на адекватность.

3. Разработан пакет прикладных программ для имитационного моделирования работы колонны в режиме реального времени.

4. Разработан пакет прикладных программ для визуализации процессов управления ректификационной колонной.

5. Разработан стенд, имитирующий работу алгоритма оптимального управления температурным профилем ректификационной колонны.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 102 наименований и трех приложений. Общий объем работы составляет 193 страницы, в том числе 155 рисунков и 3 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и основные задачи исследования, показана научная новизна и практическая значимость результатов работы, приводятся краткое содержание глав диссертационной работы, данные о структуре и объеме работы.

В первой главе диссертации проведен анализ аппаратов и процессов ректификации, анализ систем автоматического управления процессами ректификации, а также анализ программного обеспечения, применяемого в системах автоматического управления технологическими процессами.

На основе этого анализа выявлено, что эффективность работы ректификационной колонны $\psi(j, i \cdot T_s)$ определяется текущим профилем распределения концентраций по высоте колонны, зависящим от текущего профиля изменения температур по высоте колонны.

Количественно эффективность работы колонны может быть оценена по методу наименьших квадратов:

$$\psi(j, i \cdot T_s) = \sum_{j=1}^N (T_m(j, i \cdot T_s) - T_o(j, i \cdot T_s))^2 \rightarrow \min \quad (1)$$

где j – порядковый номер термонары; $i \cdot T_s$ – дискретный аналог реального времени; N – количество датчиков температур, установленных по высоте колонны.

Температурный профиль по высоте колонны (см. рисунок 1) определяется тремя управляющими воздействиями:

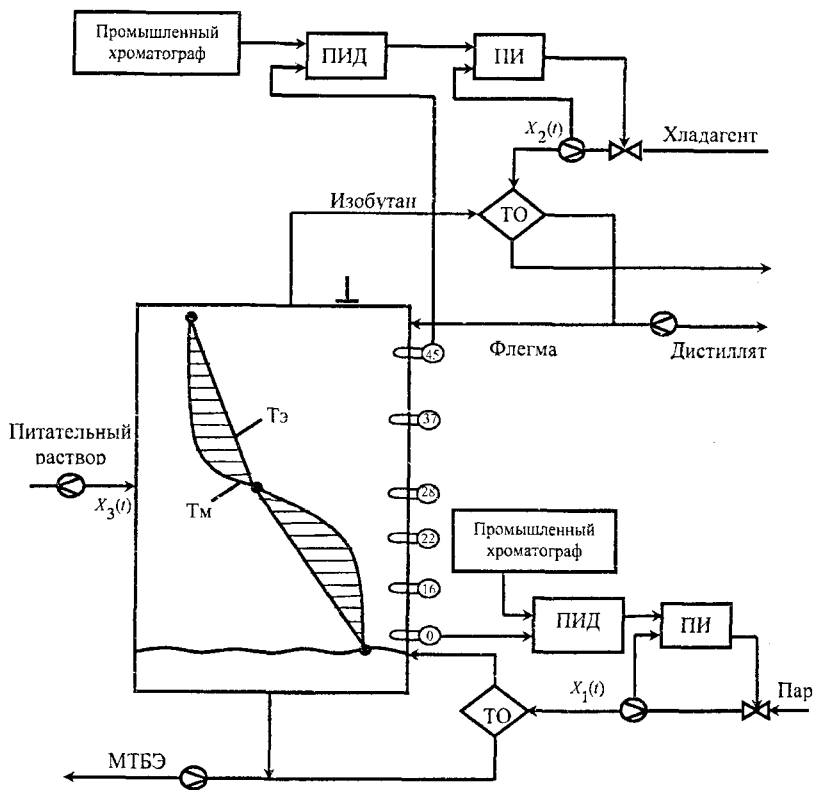


Рисунок 1 – Структура алгоритма управления температурным профилем ректификационной колонны

$X_1(t)$ – расход перегретого пара, поступающего в исчерпывающую часть колонны, $X_2(t)$ – расход хладагента, подаваемый в дефлегматор колонны и $X_3(t)$ – температура тарелки питания. Причем два из них ($X_1(t)$ и $X_2(t)$) определяют начальные (температура куба) и конечные (температура верха колонны) условия формирования профиля температур по высоте колонны.

Оптимальное управление колонной по критерию эффективности (1) тесно связано с прогнозом температуры питающей тарелки и при необходимости её коррекции. Это возможно только при наличии математической модели колонны, функционирующей в режиме реального времени.

Во второй главе представлено математическое описание температурного профиля ректификационной колонны.

Математическую модель температурного профиля колонны можно представить в виде совокупности динамических моделей его нижней (2) и верхней (3) частей и статической модели тарелки питания (4) [1]. Модели нижней и верхней частей температурного профиля представляют собой систему линейных однородных дифференциальных уравнений, число которых соответствует количеству датчиков температур, установленных по высоте исчерпывающей и укрепляющей частей колонны.

Проверка адекватности математической модели температурного профиля колонны проводилась методом активного эксперимента путем снятия кривых разгона по каналам, имеющим управляющее воздействие. По каналам, не имеющим управляющего воздействия, проверка адекватности модели проводилась по данным пассивного эксперимента, т.е. путем расчета корреляционных функций [9].

Таким образом, математическую модель нижней части температурного профиля колонны можно представить в виде следующей системы дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} 3,1 \cdot \frac{dY_1(t)}{dt} + Y_1(t) = 1,915 \cdot X_1(t - 0,18) \\ 9,53 \cdot \frac{dY_2(t)}{dt} + Y_2(t) = 0,67 \cdot Y_1(t - 22,21) \\ 0,25 \cdot \frac{dY_3(t)}{dt} + Y_3(t) = 0,825 \cdot Y_2(t - 6,5) \\ 19,86 \cdot \frac{dY_4(t)}{dt} + Y_4(t) = 0,066 \cdot Y_3(t - 111). \end{array} \right. \quad (2)$$

Система дифференциальных уравнений, описывающих математическую модель верхней части температурного профиля колонны, выглядит следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} 3,1 \cdot \frac{dY_8(t)}{dt} + Y_8(t) = 3,5 \cdot X_2(t - 0,17) \\ 5,01 \cdot \frac{dY_7(t)}{dt} + Y_7(t) = 1,07 \cdot Y_8(t - 0,28) \\ 19,91 \cdot \frac{dY_6(t)}{dt} + Y_6(t) = 0,058 \cdot Y_7(t - 1,11) \end{array} \right. \quad (3)$$

Модель формирования температуры тарелки питания, $Y_5(t)$, целесообразно принять в виде аддитивного соединения температур низа тарелки, $Y_4(t)$ и верха, $Y_6(t)$:

$$Y_5(t) = k_3 \cdot (k_1 \cdot Y_4(t) + k_2 \cdot Y_6(t)) \cdot$$

Так как температура тарелки питания находится как среднее значение между температурой паров, поступающих на нее снизу и температурой жидкости, поступающей на нее сверху, то коэффициент k_3 принимаем равным 0,5. Настраенные коэффициенты k_1 и k_2 находятся методом пошагового поиска.

$$Y_5(t) = 0,5 \cdot (11,89 \cdot Y_4(t) + 18,47 \cdot Y_6(t)) \quad (4)$$

На рисунке 2 представлены результаты проверки математической модели температурного профиля ректификационной колонны тарельчатого типа (2)-(4) на адекватность. Адекватность проверялась по критерию Фишера.

По данным выборки вычисляется экспериментальное значение критерия $F_{эмт} = 1,799$. Используя заданный уровень значимости $q = 0,05$ и число степеней свободы $n1 = 2$ и $n2 = 5$, определяется табличное (критическое) значение критерия $F_{кр} = 19,296$. Так как выполняется неравенство $F_{эмт} \leq F_{кр}$, то математическая модель адекватна и может быть применена для разработки алгоритмов управления.

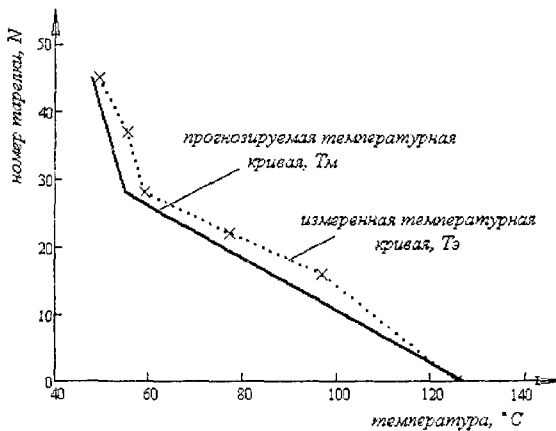


Рисунок 2 – Измеренный и прогнозируемый профили температур по высоте колонны

Статическая характеристика ректификационной колонны (рисунок 3) представляет собой зависимость величины квадрата невязки температурных профилей (прогнозируемого по математической модели и измеренного), $\psi(t)$, от температуры тарелки питания, T_{num} [2].

Из массива экспериментальных данных T_{num} выбираются все возможные значения температуры, принимаемые тарелкой питания и по формуле (1) для каждого из этих значений определяется величина квадрата невязки температурных профилей $\psi(t)$. Эта зависимость, как видно из рисунка 3, в окрестности оптимума имеет экстремальный характер, что позволяет аппроксимировать ее квадратичной формой. Аппроксимация состоит в минимизации суммы квадратов отклонений значений экспериментальных данных от аппроксимирующей функции. В результате получилась следующая зависимость:

$$\psi(T_{num}) = 12,483 \cdot (T_{num} - 62,241)^2 + 201,093. \quad (5)$$

Экстремальность зависимости объясняется тем, что существует компромисс между температурой тарелки питания и величиной квадрата невязки температурных профилей: чем ближе текущее значение температуры тарелки питания к оптимальному значению, тем меньше величина невязки температурных профилей, а значит выше эффективность работы колонны в целом.

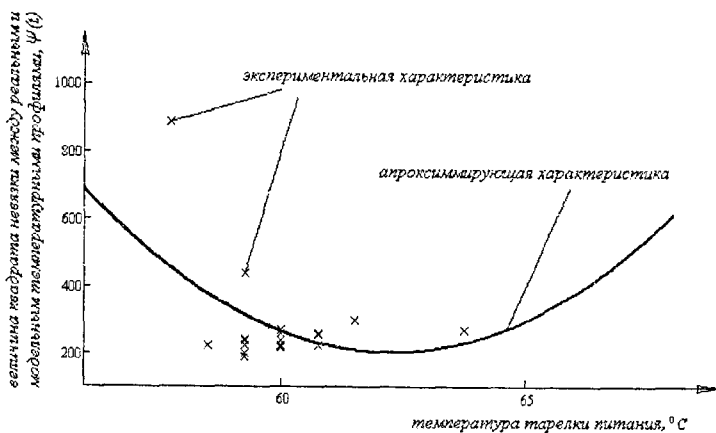


Рисунок 3 – Статическая характеристика колонны тарельчатого типа

Третья глава посвящена разработке адаптивных алгоритмов управления температурным профилем ректификационной колонны тарельчатого типа. Предлагается алгоритм оптимального управления температурным профилем, алгоритм жесткой стабилизации верхней точки профиля и алгоритм жесткой стабилизации нижней точки профиля [17, 18].

В условиях непрерывного дрейфа статической характеристики объекта алгоритм оптимального управления должен быть построен так, чтобы на основе измерения текущих значений параметров технологического процесса постоянно корректировались значения основных управляющих воздействий, то есть в алгоритме управления должна активно использоваться как априорная информация, так и получаемая с объекта текущая измерительная информация [3].

Блок-схема алгоритма идентификации текущего значения эффективности работы ректификационной колонны (см. рисунок 4) состоит из блоков 1 и 2, где рассчитываются величины математических ожиданий по входу $M\{x\}$ и по выходу $M\{y\}$. Блоки 3 и 4 предназначены для центрирования массивов x и y . В блоке 5 рассчитывается автокорреляционная функция, а в блоке 6 – взаимокорреляционная функция управляющего воздействия. В блоке 8 вычисляется скорость изменения величины квадрата невязки между температурными профилями (измеренным и рассчитанным по математической модели). В блоках 7 и 9 происходит вычисление шага поиска, а в блоке 10 делается шаг по управляющему параметру (температура тарелки питания) в сторону достижения экстремума.

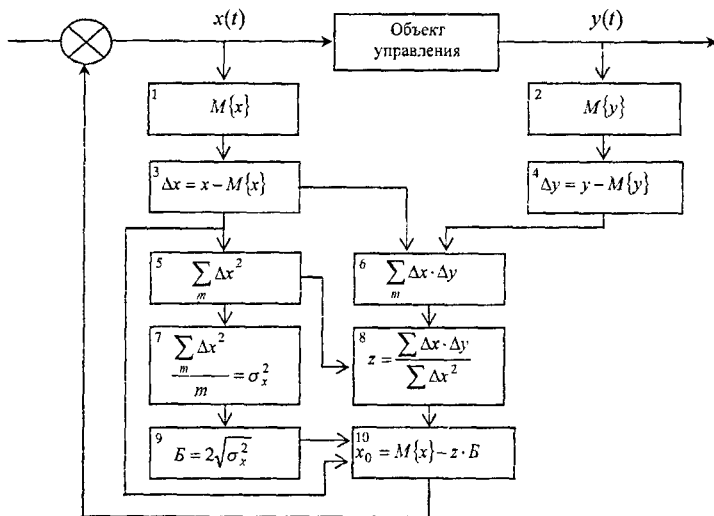


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма идентификации положения рабочей точки на критерии управления

Алгоритм управления работает следующим образом. Измерительная информация, генерируемая датчиками температур 2, постоянно попадает в ПЛК, где накапливаются экспериментальные данные по входу x (температура тарел-

ки питания) и по выходу y (величина квадрата невязки между измеренным температурным профилем и профилем, прогнозируемым по математической модели), по которым оцениваются величины математических ожиданий и производится центрирование.

На первом этапе происходит идентификация параметров математической модели. Полученные при идентификации значения параметров принимаются в качестве констант в математической модели объекта управления; далее вычисляется функционал квадрата невязки между экспериментальными данными и рассчитанными по математической модели по формуле (1).

На втором шаге решается оптимизационная задача в виде поиска минимума квадрата невязки между температурными профилями по высоте колонны. Минимум ищется градиентным методом по температуре питающей тарелки. Движение в сторону достижения минимума осуществляется по выражению:

$$x_{i+1} = x_i - h \cdot \frac{\Delta y}{\Delta x_j},$$

где x_{i+1} , x_i – значения управляющего параметра на $i+1$ -й и i -й итерациях; h – величина приращения (обычно $2\sigma_x^2$); $\frac{\Delta y}{\Delta x_j}$ – скорость изменения величины квадрата невязки между температурными профилями.

Алгоритм позволяет отслеживать дрейф оптимального режима и наносить управляющее воздействие, компенсирующее этот дрейф. Однако данный алгоритм не позволяет точно попасть в оптимум, а только следит за его перемещением.

Для обеспечения работоспособности алгоритма оптимального управления по критерию (1) необходима и достаточна жесткая фиксация как нижней точки температурного профиля колонны, так и верхней точки температурного профиля колонны. На рисунке 5 представлен способ стабилизации положения рабочей точки нижней части температурного профиля колонны в виде каскадной системы автоматического регулирования, в которой заданием регулятору температуры куба колонны служит измерительный сигнал концентрации кубового остатка [7].

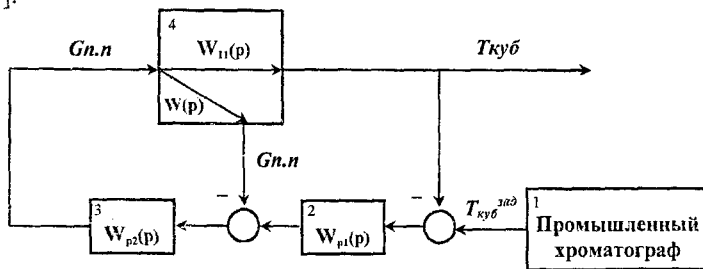


Рисунок 5 – Система стабилизации температуры куба колонны

На рисунке 6 представлен способ стабилизации положения рабочей точки верхней части температурного профиля колонны в виде каскадной системы автоматического регулирования, в которой заданном регулятору температуры верха колонны служит измерительный сигнал концентрации дистиллята [5].

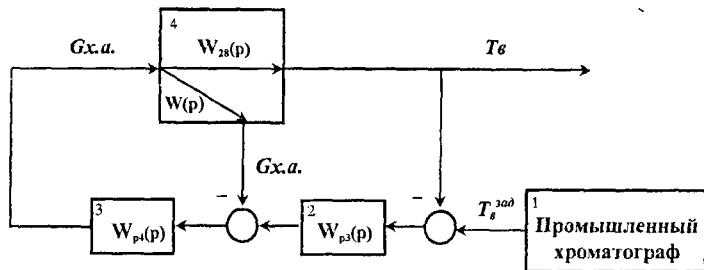


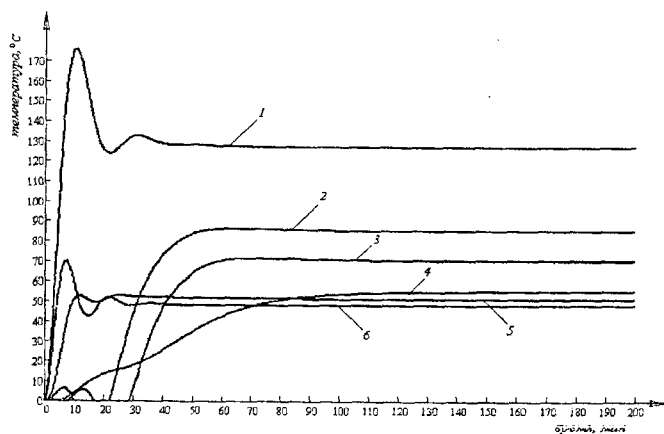
Рисунок 6 – Система стабилизации температуры верха колонны

В четвертой главе проводится проверка работоспособности разработанных алгоритмов в условиях наиболее приближенных к реальным, то есть, в условиях совместной работы алгоритмов стабилизации верхней и нижней частей температурного профиля и алгоритма оптимального управления температурой тарелки питания. Проверка работоспособности проводилась методом имитационного моделирования, то есть, в условиях дрейфа выбранной статической характеристики колонны и наличия помех измерения.

Процесс реализации математической модели (2)÷(4) в режиме реального времени и в условиях каскадного регулирования температур низа и верха колонны представлен на рисунке 7.

Анализ переходных процессов показывает, что по окончании переходных процессов в кубе (кривая 1) и вверху (кривая 6) колонны температура на тарелке питания (кривая 4) еще не достигла своего установившегося значения. Только по истечении 150 минут это значение достигается. Обусловлено это тем, что температура тарелки питания зависит от температуры паров, поступающих на нее снизу и температуры жидкости, поступающей на нее сверху. Процесс регулирования в кубе колонны отличается большей длительностью ($t_p=80$ мин) и максимальным отклонением регулируемой величины (динамическая погрешность составляет 30,8 %). Все значения динамических погрешностей являются допустимыми регламентом технологического процесса.

Таким образом, математическая модель температурного профиля колонны (2)÷(4), может быть использована при оптимальном управлении ректификационной колонной тарельчатого типа по критерию (1), минимума квадрата невязки текущего профиля температур по высоте колонны, (T_{si}), от профиля температур, прогнозируемого по математической модели, (T_{mi}).



1 – температура куба; 2 – температура 16-й тарелки; 3 – температура 22-й тарелки; 4 – температура тарелки питания; 5 – температура 37-й тарелки; 6 – температура верха

Рисунок 7 – Модельные переходные процессы и процессы управления на тарелках колонны

Используя методику имитационного моделирования, имитацию процесса управления ректификационной колонной по критерию эффективности (1) можно представить блок-схемой, изображенной на рисунке 8.

На рисунке 9 представлен график переходного процесса на тарелке питания, полученный методом статистического моделирования.

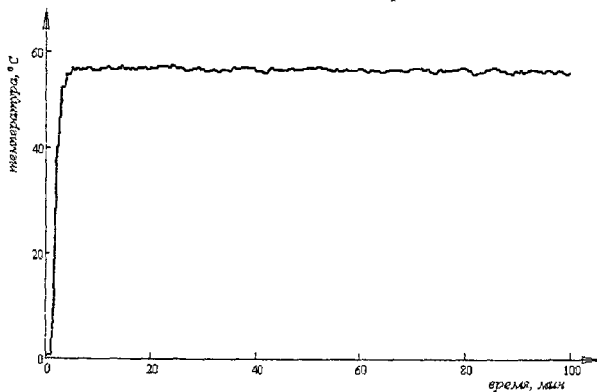


Рисунок 9 – Переходная характеристика температуры тарелки питания

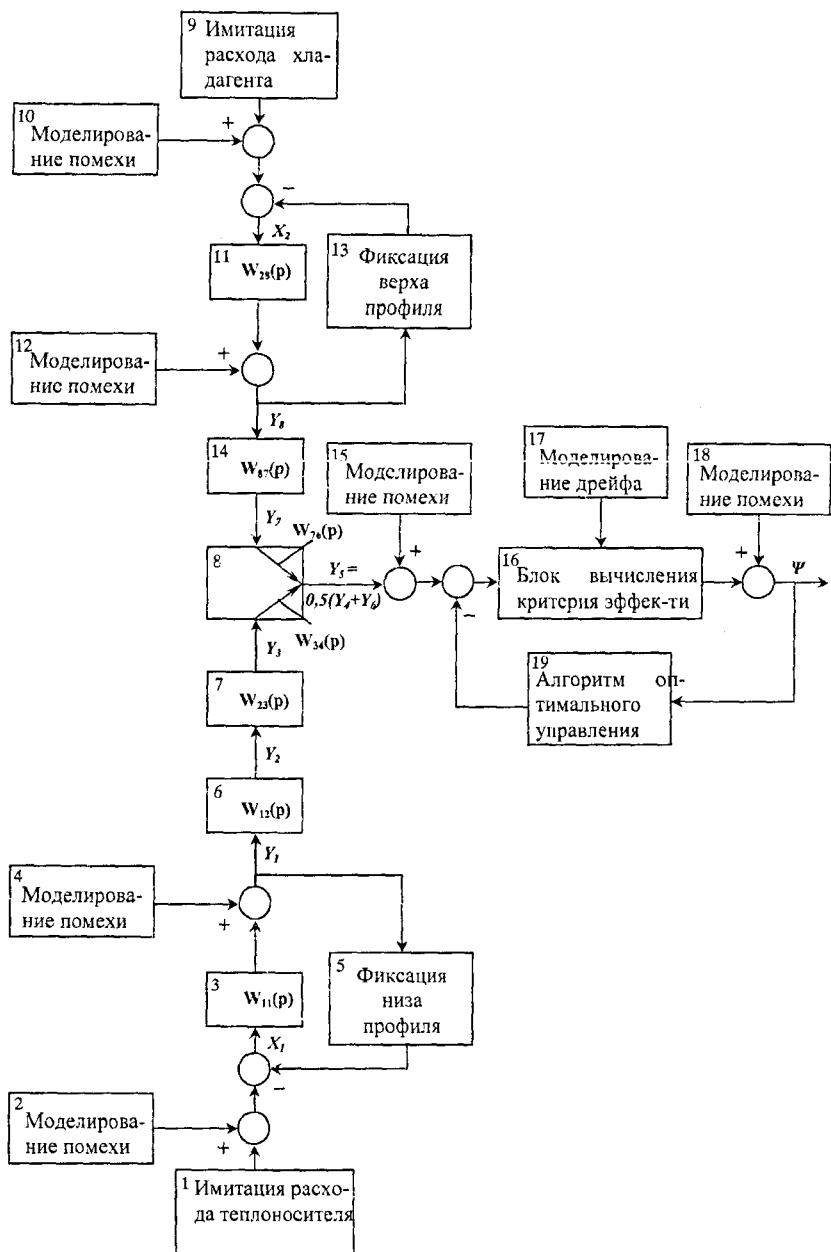


Рисунок 8 - Блок-схема имитационного моделирования процесса управления температурным профилем колонны

Сравнение переходных процессов на тарелке питания, изображенных на рисунках 7 и 9, показывает, что график на рисунке 7 имеет большее время регулирования и запаздывание, что является существенным недостатком при нанесении управляющего воздействия.

В приложениях приведены основные экспериментальные данные технологических параметров ректификационной колонны, программы идентификации объекта управления, расчет настроек систем регулирования, программы имитационного моделирования процессов управления.

Выводы

1. Предложен новый критерий управления процессом ректификации, который заключается в вычислении текущего значения невязки профиля температур, измеренного на объекте управления и профиля температур, прогнозируемого по математической модели.

2. Предложена математическая модель формирования температурного профиля по высоте колонны.

3. Предложены алгоритмы жесткой стабилизации нижней и верхней точек температурного профиля колонны.

4. Предложен алгоритм оптимального управления температурным профилем колонны.

6. Предложена методика имитационного моделирования процессов управления температурным профилем ректификационной колонны тарельчатого типа, которая учитывает динамические свойства измерительной информации и помехи измерения.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные труды в журналах из перечня ВАК РФ

1. Агринская С.А., Филатова С.О., Шевчук В.П. Система управления эффективностью работы ректификационной колонны тарельчатого типа // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2010. – №7. – с. 25–29.

2. Агринская С.А., Филатова С.О. Супервизорное управление ректификационной колонной тарельчатого типа // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия Прогрессивные технологии в машиностроении. Вып.6: межвуз. сб. науч. ст. № 12(72) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – с. 69 – 70.

Научные работы в других изданиях

3. Шевчук В.П., Агринская С.А. и др. Моделирование переходных процессов в ректификационной колонне тарельчатого типа по текущему значению эффективности работы колонны // Отчёт о НИР МЭИ № 107-10. Информационная карта ГР №01201056680, инв. № 0220.1 057075. М.: ФГНУ «Центринформ», 2010.– 97 с. (грант РФФИ № 10-08-00125-а)

4. Агринская С.А., Ванина Е.А. Исследование и разработка алгоритмов управления процессом ректификации в укрепляющей части ректификационной

колонны // Сборник материалов XIII межвузовской научно-практической конференции молодых ученых и студентов г. Волжского. – Волжский: Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)», 2007. – с. 21–22.

5. Агринская С.А., Ванина Е.А. Исследование и разработка алгоритмов управления процессом ректификации в укрепляющей части ректификационной колонны // Интеллектуальные измерительные системы в промышленности Южного региона: Материалы Всероссийской научно-практической конференции / Сборник научных статей. – Волжский: Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском, 2007. – стр. 115–119.

6. Агринская С.А., Власова О.С. Исследование и разработка алгоритмов управления процессом ректификации в кубе ректификационной колонны // Сборник материалов XIII межвузовской научно-практической конференции молодых ученых и студентов г. Волжского. – Волжский: Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)», 2007. – с. 23–24.

7. Агринская С.А., Власова О.С. Исследование и разработка алгоритмов управления процессом ректификации в кубе ректификационной колонны // Интеллектуальные измерительные системы в промышленности Южного региона: Материалы Всероссийской научно-практической конференции / Сборник научных статей. – Волжский: Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском, 2007. – стр. 119–122.

8. Агринская С.А., Гордеев В.Ю., Филатова С.О. Математическое описание ректификационной колонны // XIV межвузовская научно-практическая конференция молодых ученых и студентов. г. Волжский, 26–30 мая 2008 г.: Тезисы докладов. В 4 т. Т. 2. – Волжский: Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском, 2008. – с. 7–9.

9. Агринская С.А., Филатова С.О. Адаптивное управление процессом ректификации // Ресурсо-энергосбережение и эколого-энергетическая безопасность промышленных городов: Сборник материалов второй всероссийской научно-практической конференции. – Волжский: Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)», 2008. – с. 112–117.

10. Агринская С.А. Исследование алгоритмов управления качеством процесса ректификации // Инновационные технологии в обучении и производстве: Материалы V Всероссийской научно-практической конференции, г. Камышин, 4–6 декабря 2008 г.: В 3 т. Т.1. – Волгоград, 2008. – с. 145–146.

11. Агринская С.А., Королева М.И., Немировская А.А. Разработка аналитической математической модели ректификационной колонны // Сборник материалов XIV межвузовской научно-практической конференции молодых ученых и студентов, 25–29 мая 2009 г.: Тезисы докладов. В 4 т. Т.1. – Волжский: Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)», 2009. – с. 35–36.

12. Агринская С.А., Филатова С.О. Оптимальное управление ректификационной колонной по критерию эффективности работы // Моделирование и создание объектов энерго-ресурсосберегающих технологий: Межрегиональная научно-практическая конференция, г. Волжский, 22–25 сентября 2009 г./ Сбор-

ник материалов конференции. – Волжский: Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском, 2009. – с. 150–154.

13. Агринская С.А., Филатова С.О. Адаптивное управление процессом ректификации // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. Тез. докл. XV МНТК студентов и аспирантов: В 3 т. Т.3. – М.: МЭИ, 2009. – с. 213–214.

14. Агринская С.А., Филатова С.О. САР эффективности работы ректификационной колонны тарельчатого типа // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Шестнадцатая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: Тез. докл. В 3 т. Т.3. М.: Издательский дом МЭИ. – 2010. – с. 255–256.

15. Агринская С.А. Робастное управление процессом ректификации // Ресурсо-энергосбережение и эколого-энергетическая безопасность промышленных городов: Третья Всероссийская научно-практическая конференция, г. Волжский, 28–30 сентября 2010 г. / Сборник материалов конференции. – Волжский: Филиал «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском, 2010. – с. 211–213.

16. Агринская С.А. Робастное управление ректификационной колонной // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Семнадцатая Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов: Тез. докл. В 3 т. Т.3. М.: Издательский дом МЭИ. – 2011. – с. 202–203.

17. Пат. 104475 Российская Федерация, МПК: В 01 D 3/42. Устройство автоматического регулирования процессом ректификации / Шевчук В.П., Агринская С.А., Филатова С.О.; заявитель и патентообладатель Московский энергетический институт. – № 2010150625/05; заявл. 10.12.10; опубл. 20.05.11, Бюл. № 14. – 5 с.: ил.

18. Заявка № 2010148090 на изобретение РФ, МПК: В 01 D 3/42. – Способ автоматического управления процессом ректификации // Авторы Агринская С.А., Филатова С.О., Шевчук В.П.

Подписано в печать 5.10.11г. Зак. 218 Тир. 100 П.л. 1,25
Полиграфический центр МЭИ(ТУ)
Красноказарменная ул., д.13