

42029725

На правах рукописи

Пашаева Бахар Адалят кызы

**Реализация алгоритмов управления на основе прогнозирующих моделей в
системах каталитического крекинга нефти**

05.13.01- Системный анализ, управление и обработка информации
(в технических системах)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2013г.

**Работа выполнена в Московском государственном техническом
университете имени Н.Э.Баумана**

Научный руководитель

**кандидат технических наук, доцент
Гаврилов Александр Игоревич**

Официальные оппоненты

Григорьев Леонид Иванович, доктор технических наук, профессор,
Российский государственный университет Нефти и Газа им. И.М. Губкина,
заведующий кафедрой автоматизированных систем управления

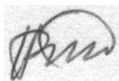
Никифоров Сергей Васильевич, кандидат технических наук, Институт
экономики, управления и права РГГУ, доцент кафедры моделирования в
экономике и управлении факультета управления.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение
науки ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ им.
В.А. Трапезникова РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК

Защита состоится _____ на заседании диссертационного совета
Д 212.141.02 при Московском государственном техническом университете им.
Н.Э.Баумана (МГТУ им. Н.Э.Баумана) по адресу: 105005, г. Мос-
Госпитальный переулок, д.10.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке при Моско-
государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана.

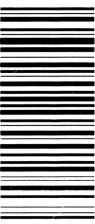
Автореферат разослан “____” _____ 2013г.



Учёный секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент

Муратов И.В.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



2029725

Реализация АП

Пашаева И

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Высокие технологии в области нефтепереработки быстро развиваются в связи с востребованностью продуктов нефти. Процесс каталитического крекинга является ключевым среди процессов нефтепереработки и малейшее улучшение в качестве протекания данного процесса приводит к значительному улучшению качества выходных продуктов нефтепереработки.

Развитие высоких технологий обуславливает непрерывное повышение требований к качеству работы современных систем автоматического управления. Для эффективного решения задач управления требуется разработка новых схем управления, которые должны быть достаточно просты по принципам организации и функционированию.

В настоящее время в нефтеперерабатывающих заводах преимущественно применяются традиционные ПИД-регуляторы. Факторами, обусловившими широкое использование ПИД-регуляторов в системах стабилизации различных объектов, стали простота их структуры и высокая надежность. Однако их недостатком является то, что при изменении рабочих точек из-за возмущений требуется перенастройка контроллеров. На предприятиях с непрерывным режимом работы при использовании таких контроллеров необходим постоянный контроль, что требует большой численности персонала. Кроме этого, для процессов с переменными параметрами, запаздыванием, существенными нелинейностями и значительными помехами использование ПИД-контроллеров может оказаться неэффективным. Трудности, обусловленные настройкой ПИД-регуляторов, приводят к тому, что в большинстве случаев они работают не в оптимальном режиме.

Одним из современных формализованных подходов к анализу и синтезу систем управления, базирующихся на математических методах оптимизации, является технология управления динамическими объектами с использованием прогнозирующих моделей, которая всё чаще стала вытеснять ПИД-регуляторы.

Этот подход начал развиваться в начале 60-х годов для управления процессами и оборудованием в нефтехимическом и энергетическом производствах, для которых в связи сложностью математических моделей процессов применение традиционных методов синтеза было затруднено.

Основным достоинством управления на основе прогнозирующих моделей (УПМ), определяющим его успешное использование в разработке и эксплуатации систем управления, служит относительная простота базовой схемы формирования обратной связи. Последнее обстоятельство позволяет управлять многомерными и многосвязными объектами со сложной структурой, включающей нелинейности, оптимизировать процессы в режиме реального времени в рамках ограничений на управляющие и управляемые переменные, учитывать неопределенности в задании объектов и возмущений. Кроме того,

возможен учет транспортного запаздывания, учет изменений критериев качества в ходе процесса и отказов датчиков системы измерения.

Это переопределяет актуальность темы и диктует необходимость дальнейшей разработки систем управления на основе прогнозирующих моделей.

Цель диссертационной работы: Основной целью диссертационной работы является исследование и реализация алгоритмов управления на основе прогнозирующих моделей в системах каталитического крекинга нефти.

В соответствии с указанной целью определены следующие задачи исследований:

1. Исследование особенностей управления процессом ККН.
2. Исследование особенностей построения математических моделей технологического процесса ККН.
3. Обоснование возможности применения УПМ подходов в задачах управления производственными процессами на основе анализа современных систем управления.
4. Построение обобщенной математической модели процесса ККН.
5. Разработка динамической модели процесса ККН в результате реализации процедуры идентификации.
6. Разработка процедуры синтеза УПМ-регулятора для процесса ККН.
7. Разработка алгоритмов управления процессами ККН на основе прогнозирующих моделей.
8. Реализация алгоритмов управления процессом ККН на основе УПМ-регулятора.

Методы исследований. В процессе выполнения диссертационной работы использовались методы теории математического моделирования, теории автоматического управления, теории оптимального управления и др. Кроме того, использовались методы численного моделирования разработанных алгоритмов. При моделировании применялись пакеты прикладных программ Matlab-SimuLink.

Научная новизна работы. На основе анализа, систематизации и обобщения научных достижений в таких областях, как теория автоматического управления, теория оптимального управления, сформирован инженерный подход к решению задачи проектирования систем автоматического управления процессом ККН на основе прогнозирующих моделей.

Основные результаты работы:

- 1) Разработаны типовые структуры систем управления на основе УПМ-подходов.
- 2) На основе исследований физико-химических свойств процесса разработана математическая модель ККН.
- 3) Проведен анализ современных технологий управления на основе прогнозирующих моделей в перерабатывающей промышленности.

- 4) На основе обобщенной модели ККН получена упрощенная динамическая модель процесса.
- 5) Разработана процедура синтеза УПМ-регулятора для процесса ККН
- 6) Реализована система управления установкой каталитического крекинга на основе УПМ-регулятора.
- 7) Определены оптимальные параметры УПМ-регулятора.
- 8) Подтверждена эффективность применения УПМ-регулятора для управления технологическим процессом ККН. Алгоритмы управления, содержащиеся в работе, использовались в ЗАО НПФ «ИнСАТ» при создании автоматизированной системы управления для установки подготовки нефти УПН-500.

Практическая значимость работы. Разработана эффективная модель каталитического крекинга нефти для применения в системах управления на основе прогнозирующих моделей и подходы к управлению на основе прогнозирующих моделей, которые открывают новые возможности для повышения эффективности производства и могут быть использованы на различных технологических перерабатывающих предприятиях и других областях промышленности для развития традиционных автоматических систем управления.

Реализация результатов работы. Основной сферой использования полученных результатов являются автоматические системы управления установками процессов переработки нефти. Алгоритмы управления, содержащиеся в диссертационной работе были использованы при создании автоматизированной системы управления для установки подготовки нефти УПН-500.

Положения, выносимые на защиту. Алгоритмы управления в системах ККН на основе УПМ-подходов; Методика построения обобщенной математической модели ККН; Методика моделирования редуцированной динамической модели процесса ККН; Процедура синтеза системы управления установкой каталитического крекинга на основе УПМ-регулятора.

Личный вклад автора. Личный вклад автора заключается: в постановке основных задач исследования и разработке процедур их решения; в формировании моделей объектов управления для установки ККН; в разработке алгоритма управления на основе прогнозирующих моделей технологическим объектом ККН; в определении структуры с прогнозированием выходных и контролируемых внешних воздействий, а также эффектов неконтролируемых внешних воздействий, приведенных к выходу объекта управления; в компьютерном моделировании разработанных алгоритмов на базе современных программно-технических средств.

Достоверность полученных результатов и сделанных на их основании выводов обуславливается глубокой теоретической проработкой существующих подходов, использованием известных закономерностей и апробированных методик, соответствием методов исследования поставленным целям и задачам, представительностью выборки испытуемых, сочетанием

количественного и качественного анализа результатов, применением современных методов статистической обработки данных, непротиворечивостью результатов.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертации представлялись, обсуждались и были приняты на научном семинаре кафедры систем автоматического управления, а также на двух конференциях международного уровня: The third international conference «Problems of Cybernetics and Informatics» (PCI'2010) 2010. Baku, Azerbaijan; 3rd international conference on control and optimization with industrial applications (COIA'2011).2011.Bikent University, Ankara, Turkey.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликованы 9 научных работ, из них в журналах по перечню ВАК - две.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 110 наименований. Основная часть работы составляет 165 страниц машинописного текста, 9 таблиц и 36 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность диссертационной работы, формулируется ее цель, научная новизна, приводятся полученные результаты, решенные практические задачи и структура работы.

В первой главе представлен обзор современных технологий управления в перерабатывающей промышленности. Приводится классификация УПМ технологий. Обосновывается использование той или иной модификации системы УПМ в различных отраслях перерабатывающей промышленности в зависимости от достоинств и недостатков каждого частного вида УПМ. Так, например, в производствах, где требования к быстродействию управления высоки, в большинстве случаев применяются линейные УПМ, так как задачи оптимизации в реальном времени для нелинейных УПМ являются очень сложными, занимают долгое время, следовательно, не обладают быстродействием и, самое главное, не всегда имеют решения.

Принцип УПМ можно охарактеризовать следующей стратегией (рис. 1):

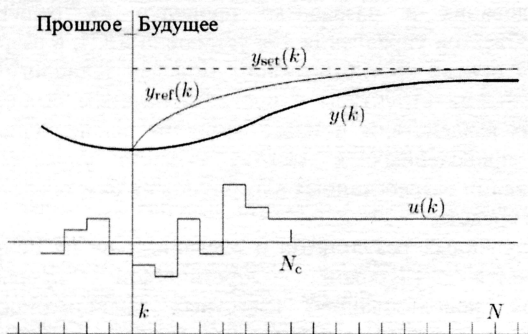


Рис. 1. Принцип удаляющегося горизонта в УПМ

в каждый конкретный момент времени k , выход процесса прогнозируется относительно некоего конечного горизонта времени $j = 1...N$. Прогнозируемые значения выхода в момент времени k соответственно будут $y(k+j)$, а значение параметра N называют горизонт прогнозирования. Прогноз осуществляется посредством модели процесса; предполагается, что модель имеется в наличии. Прогноз зависит как от прошлых входов и выходов, так и от будущего сценария управления $\{u(k+j), j=0...N_c-1\}$ (то есть управляющих действий, которые мы рассчитываем предпринять начиная с текущего момента времени); заданная траектория $\{y_{ref}(k+j), j=1...N\}$, начиная с $y_{ref}(k), y(k)$, определяется на основании горизонта прогнозирования и описывает, как мы собираемся управлять выходом процесса с целью минимизации динамической погрешности $e(k+j) = y_{ref}(k+j) - y(k+j)$;

измерение выхода $\hat{y}(k)$ используется для оценки положения и обратной связи; управляющая последовательность $u(k+j), j=0...N_c-1$ вычисляется на основе измерений с целью минимизации конкретной целевой функции в зависимости от прогнозируемых ошибок выхода $y_{ref}(k+j) - y(k+j), j=1...N$. Также в большинстве методов присутствует некоторое упорядочивание будущих законов управления $\{u(k+j), j=0...N_c-1\}$, а на переменные могут быть наложены ограничения; первый элемент $u(k)$ оптимальной управляющей последовательности $\{u(k+j), j=0...N_c-1\}$ применяется к реальному процессу и определяет управляющее воздействие на всем диапазоне времени $k \in Z_+$. Все остальные элементы вычисляемого вектора управления можно отбросить, так как к следующему моменту измерения все временные последовательности сдвинутся, будет получено новое значение выхода $y(k+1)$ и всю процедуру нужно будет повторить. В результате будет получен новый управляющий сигнал $u(k+1|k+1)$, абсолютно отличный от предыдущего $u(k+1|k)$. Данный принцип носит название стратегии «удаляющегося горизонта».

В данной главе рассмотрены нерешенные задачи и перспективы их развития, связанные с УПМ. УПМ подходы наряду с неоспоримыми достоинствами, такими как использование модели процесса в реальном времени для прогнозирования выхода процесса, расчет оптимальных управлений на основе минимизации одной или нескольких целевых функций, с возможным включением ограничений на переменные процесса имеет ряд трудностей:

- Оптимальное управление, основанное на методе Эйлера-Лагранжа носит чисто локальный характер. Это остается одной из основных задач, стоящих перед применением УПМ для нелинейных систем, так как итоговая задача оптимизации нелинейных систем редко имеет эксплуатационные свойства. По этим причинам, важным вопросом, как теоретическим, так и практическим, остается вопрос о том, может ли оптимизация быть успешно применена в УПМ. Поскольку в большинстве

случаев, оптимальное решение, даже если нет ограничений, неизвестно и не подлежит вычислению.

- Большинство существующих УПМ методов основываются на управлении по разомкнутой схеме. Преимущество управления по обратной связи в том, что воздействие шума и помех могут быть эффективно учтены при управлении. Однако конструкция управления по обратной связи более трудная, чем конструкция обычных разомкнутых УПМ управлений.
- Достижимое качество управления, как правило, неизвестно, и вообще, не подлежит оценке. Существует ряд проблем определения устойчивости систем управления с применением прогнозирующего регулятора.

Во второй главе рассмотрены линейные УПМ технологии: их основные свойства и особенности; модели, используемые при УПМ подходах; задачи, решаемые при синтезе УПМ регуляторов.

Важное отличие УПМ от традиционных методов управления - это явное использование модели при управлении объектом. Этот аспект является и преимуществом и недостатком УПМ подхода. Большая часть необходимых работ при применении УПМ заключается в моделировании и идентификации объекта. Однако, в конечном итоге, сложности получения хорошей модели, могут быть компенсированы высоким качеством управления.

Модели, используемые в УПМ, служат двум целям:

- Прогноз ожидаемого поведения выхода технологического процесса в будущем на основе входов и известных возмущений, приложенных к процессу в прошлом.
- Вычисление следующего управляющего входного сигнала, необходимого для минимизации целевой функции управления.

Для достижения этих целей не обязательно использовать одну и ту же модель. Модель для прогноза может отличаться от модели для вычисления следующего управляющего воздействия. Из-за важной роли моделей в УПМ эта глава посвящена им. Применяемые модели представляются в пространстве входа-выхода.

Применяют два вида моделей входа-выхода:

Модели прямой зависимости, в которых входной сигнал u поступает прямо в модель.

Модели с приращением, в них в модель поступает отклонение входного сигнала Δu .

Для случаев с линейным УПМ рассматриваем модели в переменных состояний следующей формы:

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k)$$

$$y(k) = cx(k) + Du(k)$$

или в переменных вход-выход:

$$Y(s) = G(s) * U(s) + G_z(s) * Z(s)$$

В данном разделе описываются линейные модели, изучаются модели с дискретным временем. Применение подобных допущений к реальным технологическим процессам является частью моделирования или фазы определения процесса. Структура дискретного управляющего устройства очевидна. Линейная инвариантная во времени непрерывная модель всегда может быть превращена в линейную инвариантную во времени дискретную модель с использованием дискретного преобразования Лапласа.

В данной главе приводится постановка задачи оптимального управления, пути ее решения и приводятся основы теории оптимизации, необходимые для решения задач оптимального управления в системах управления на основе прогнозирующих моделей.

Общая формулировка задачи оптимального управления, представляющей собой задачу динамической оптимизации, сводится к минимизации целевой функции по набору дифференциальных и алгебраических ограничений, а также нескольким дополнительным ограничениям, заданным равенствами и неравенствами.

$$\min_{u(t)} J(x_0, u(t)), t \in [t_0, t_f]$$

$$\dot{x} = f(x, u), x(t_0) = x_0$$

$$h(x(t), u(t)) = 0$$

$$g(x(t), u(t)) \leq 0$$

Здесь J - (неотрицательная) целевая функция, f принимается достаточно гладкой, чтобы $\dot{x} = f(x, u)$ имела единственное (абсолютное непрерывное) решение на отрезке $[t_0, t_f]$ для любого входного воздействия u . g и h являются ограничениями системы.

Для решения задач оптимального управления в линейных УПМ существует две основных стратегии: динамическое программирование и классический вариационный подход.

Фактически задачи оптимального управления для линейных УПМ имеют вид строго выпуклой задачи квадратичного программирования и существуют стандартные методы решения задачи динамического программирования для линейно квадратичного регулятора. Для такого случая целевая функция имеет вид:

$$J_N(x(k), u) = \sum_{j=0}^{N-1} [\|x(k+j)\|^2 + \|u(k+j)\|^2] + \|x(k+N)\|^2$$

где N - горизонт прогнозирования, N_c - горизонт управления, y_{ref} - желаемая траектория, y - выходная переменная.

Оптимальное управление находится с помощью обратных итераций дифференциального уравнения Риккати.

Основной проблемой оптимизации с ограничениями может стать недопустимость задачи. Стандартные инструменты решения квадратичных уравнений в подобных случаях просто прекращают решение. Очевидно, что такой подход неприемлем в качестве замены входного сигнала, который

необходимо подавать на установку. Поэтому при использовании управления с прогнозированием необходимо либо предпринять шаги для избегания недопустимостей, либо иметь резервный метод вычисления управляющего сигнала. Для решения данной проблемы предлагаются различные методики:

- избегать «жестких» ограничений на выход y
- активно управлять ограничениями в каждый момент времени k
- активно управлять горизонтами в каждый момент времени k
- использовать для решения нестандартные алгоритмы.

Рассмотрены также некоторые аспекты проблем устойчивости прогнозирующего управления с обратной связью. Хотя и было различными авторами проведено много исследований в области проблем устойчивости (Квон, Пирсан, Роулинг, Жао и др.) и выработано множество подходов направленных на получение гарантированно устойчивой системы с обратной связью, эта проблема все еще до конца не решена и остается актуальной.

Приведены некоторые алгоритмы решения квадратичного программирования.

В третьей главе приводится описание установки каталитического крекинга нефти, рассматриваются принципы ее функционирования и особенности протекания процесса. Произведен анализ установки ККН как объекта управления. Рассмотрены различные структуры управления установкой ККН. Представлено описание обобщенной математической модели установки ККН на основе балансов масс и тепловых балансов.

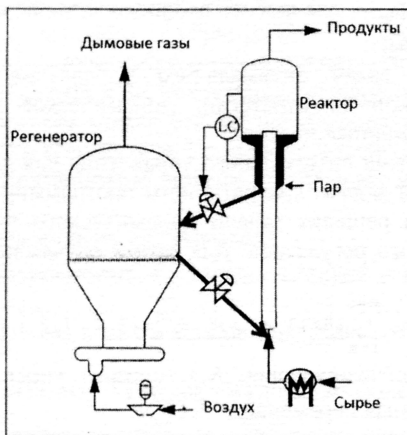


Рис. 2. Схема установки ККН

Установка каталитического крекинга состоит из двух основных частей: из реактора и регенератора (рис. 2). Центральной частью установки каталитического крекинга является реактор, функционирующий следующим образом: сырье проходит через нагреватель, смешивается с катализатором и

поступает в вертикальную трубу (райзер), ведущую в нижнюю часть большого сосуда (отстойная часть реактора). Отделение углеводородов от катализатора происходит в отстойной зоне реактора. Прореагировавшее сырье поднимается вверх и направляется в ректификационную колонну для дальнейшей очистки, а закоксованный катализатор самотеком по наклонной транспортной линии поступает в регенератор. Чтобы восстановить активность катализатора после реакции, отработанный катализатор подают в регенератор, где его смешивают с горячим воздухом. В результате происходит окисление кокса. Процесс, протекающий в регенераторе, называют выжигом кокса. Восстановленный катализатор снова подается в реактор, таким образом, катализатор находится в непрерывном движении, проходя по циклу крекинг—регенерация.

Главной целью управления является поддержание безопасной эксплуатации системы, сохраняя при этом рабочие условия близкими к экономически оптимальным условиям. Эта глобальная цель достигается применением иерархической структуры управления, где у каждого звена иерархии есть своя локальная задача. Для управления процессом каталитического крекинга используются много локальных автоматических систем регулирования и УПМ управлений. УПМ управление используется обычно на среднем уровне иерархической системы автоматизации. УПМ управление вырабатывает уставки для различных локальных контуров регулирования.

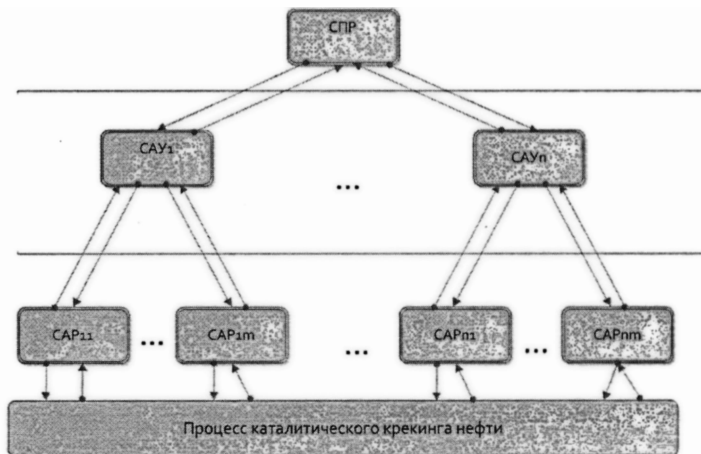


Рис. 3. Схематическое представление иерархической системы управления (САР – система автоматического регулирования; САУ – система автоматического управления; СПР – система планирования работы)

Типовая схема иерархической системы управления приведена на рис. 3. Главной задачей нижнего уровня является поддержание параметров на заданных значениях для различных локальных контуров регулирования. На среднем уровне иерархии используется многосвязная модель процесса для того,

чтобы рассчитать, как лучше следует управлять процессом так, чтобы оптимизировать некую целевую функцию в установленных ограничениях на измеряемые и управляемые параметры. Задачей верхнего уровня является оптимизация всего процесса и эта оптимизация производится автономно – не связано с непосредственным протеканием процесса.

Расчет систем управления для процесса ККН представляет собой сложную задачу. Сложность задачи обусловлена следующими факторами:

- система и имеет нелинейный характер;
- объект управления является многосвязным с существенными перекрестными связями;
- разница в постоянных времени для различных подсистем

существенная.

В данной главе рассмотрены различные структуры управления, их достоинства и недостатки.

Для управления процессом ККН при применении структуры управления 3х3 в качестве выходных параметров системы, как правило, принимаются температура в реакторе (T_1), температура в нижней части регенераторе (T_{rg}) и температура в циклонах регенератора (T_{cy}):

$$y = (T_1, T_{rg}, T_{cy})^T$$

В зависимости от состава управляющих параметров структуры 3х3 разделяются на два основных вида:

$$u_1 = (F_s, F_a, k_c)^T$$

$$u_2 = (F_s, F_a, T_f)^T$$

Данные структуры управления в пространстве вход-выход будут иметь вид:

$$\begin{bmatrix} T_1 \\ T_{rg} \\ T_{cy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} \\ W_{31} & W_{32} & W_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_s \\ F_a \\ k_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} T_1 \\ T_{rg} \\ T_{cy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} \\ W_{31} & W_{32} & W_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_s \\ F_a \\ T_f \end{bmatrix}$$

В первом случае в качестве управляющих параметров применяются расход катализатора (F_s), расход воздуха (F_a) и фактор образования кокса (k_c). Во втором случае регулирование T_{cy} осуществляется путем изменения температуры сырья (T_f). Предполагается, что установка работает в пределе максимальной мощности, поэтому расход сырья (F_f) невозможно использовать как управляющее воздействие.

Результаты ранее проведенных исследований (Ховд, Скогестад) показывают, что применение в качестве структуры управления u_1 дает

лучшие результаты относительно структуры u_2 . Этот факт обуславливается тем, что температура сырья не сильно влияет на выходные параметры.

Несмотря на существование структур управления, где управление осуществляется сразу тремя параметрами, на практике чаще всего встречаются структуры управления 2×2 . Широкое применение таких структур позволяет сравнивать и сопоставлять полученные результаты с результатами других авторов.

При использовании управления 2×2 в качестве управлений всегда применяются расход воздуха и катализатора, поступающего из регенератора в реактор как наиболее сильно влияющие параметры на выходные параметры процесса. Различные структуры управления в данном случае отличаются выбранными управляемыми параметрами. Существует четыре альтернативных структур управления 2×2 :

1. Обычная структура управления, $y_c = (T_1, \Delta T_{rg})^T$, где F_s используется для регулирования T_1 , F_a для регулирования ΔT_{rg} :

$$\begin{bmatrix} T_1 \\ \Delta T_{rg} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} \\ W_{21} & W_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_s \\ F_a \end{bmatrix}$$

2. Система управления по Курихаре, $y_k = (T_{rg}, \Delta T_{rg})^T$, где F_s используется для регулирования T_{rg} , F_a для регулирования ΔT_{rg} :

$$\begin{bmatrix} T_{rg} \\ \Delta T_{rg} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} \\ W_{21} & W_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_s \\ F_a \end{bmatrix}$$

3. Альтернативная система управления по Курихаре, $y_{AK} = (T_{rg}, T_{cy})^T$, где F_a используется для регулирования T_{rg} , F_s для регулирования T_{cy} .

$$\begin{bmatrix} T_{rg} \\ T_{cy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} \\ W_{21} & W_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_s \\ F_a \end{bmatrix}$$

Такая структура управления является альтернативой второй структуры, так как y_{AK} является линейной комбинацией y_k .

4. Система управления по Хикку $y_H = (T_1, T_{cy})^T$, где F_s используется для регулирования T_1 , а F_a для регулирования T_{cy} :

$$\begin{bmatrix} T_1 \\ T_{cy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} \\ W_{21} & W_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_s \\ F_a \end{bmatrix}$$

Последняя структура управления наиболее распространенная структура в промышленности.

Произведена декомпозиция системы ККН. Обобщенная модель установки получена путем интеграции моделей, построенных на основе балансов масс и тепловых балансов. Структура системы приведена на рис. 4.

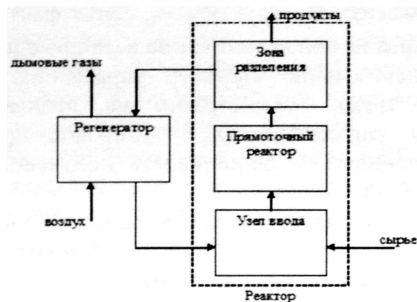


Рис. 4. Структура установки ККН

В данной работе применяется 3-х компонентная математическая модель крекинга.

Согласно редуцированной модели реактора, реакции, протекающие в прямоточном реакторе можно условно разделить на три следующих вида:

Реакция 1: $A \xrightarrow{k_1} B$,

Реакция 2: $B \xrightarrow{k_2} C$,

Реакция 3: $A \xrightarrow{k_3} C$,

где, А– это сырье (гидроочищенный вакуумный дистиллят, иначе газойл), В – целевой продукт (бензин), С –легкие газовые фракции. Первая реакция желаемая, так как бензин является целевым продуктом. Реакции 2 и 3 являются побочными реакциями.

В четвертой главе реализована система управления установкой ККН с использованием УПМ-регулятора.

Для реализации системы управления установкой ККН были в первую очередь определены виды управления и выходные параметры системы. После рассмотрения в первой главе существующих структур управления, для моделирования была выбрана структура управления по Хикку:

$$\begin{cases} u = (F_r, F_a)^T \\ y_H = (T_1, T_{reg})^T \end{cases}$$

F_r (подача катализатора из регенератора в реактор) используется для регулирования T_1 (температура в прямоточном реакторе), а F_a (подача воздуха в регенератор) для регулирования T_{reg} (температура в регенераторе).

Остальные переменные системы, в частности расход и температура сырья (F_f, T_f) , а также температура катализатора (T_r) , подающегося в реактор при таком выборе структуры управления, учитываются как возмущающие параметры системы.

В результате определенных входных, выходных и возмущающих переменных модель процесса в переменных вход-выход будет иметь следующую структуру:

$$\begin{bmatrix} T_1 \\ T_{reg} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{14} & W_{15} \\ W_{24} & W_{25} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_s \\ F_a \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_f \\ T_s \\ F_f \end{bmatrix}$$

Структурная схема процесса приведена на рисунке 5.

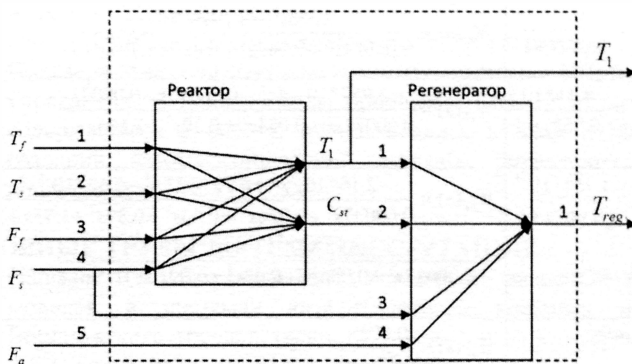


Рис. 5. Структурная схема системы ККН

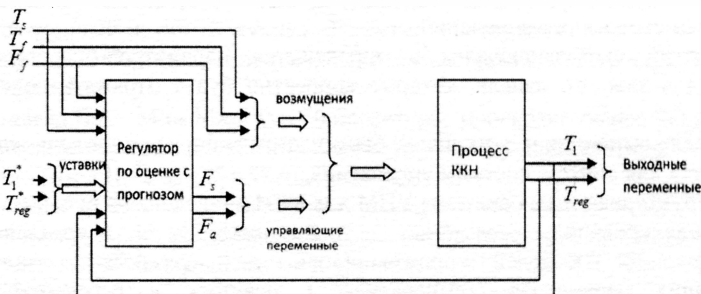


Рис. 6. Схема управления с использованием прогнозирующих моделей применительно процесса каталитического крекинга нефти

После определения структуры системы, второй шаг заключался в определении вида передаточной функции для каждого канала связи. В этой работе, условно принималось, что каждая связь может быть охарактеризована апериодическим звеном первого порядка без чистого запаздывания:

$$W(s) = \frac{k_m}{T_s s + 1}$$

Где k_m - коэффициент усиления; T_s - временная постоянная.

Таблица 1.

Передаточные функции упрощенной модели процесса каталитического крекинга нефти

Выход Вход	Температура в реакторе	Температура в регенераторе
Температура сырья	$W_{11}(s) = \frac{0.23}{0.064s + 1}$	$W_{21}(s) = \frac{0.0045s^2 + 0.105s + 0.165}{0.00064s^4 + 0.029s^3 + 0.386s^2 + 1.163s + 1}$
Температура использ.-го катализатора	$W_{12}(s) = \frac{0.79}{0.064s + 1}$	$W_{22}(s) = \frac{0.075s^2 + 0.39s + 0.61}{0.00084s^4 + 0.045s^3 + 0.4s^2 + 1.177s + 1}$
Расход сырья	$W_{13}(s) = \frac{-8.11 \cdot 10^{-4}}{0.062s + 1}$	$W_{23}(s) = \frac{-2.059 \cdot 10^{-4}s^2 - 0.00045s - 0.00072}{0.00072s^4 + 0.031s^3 + 0.39s^2 + 1.165s + 1}$
Расход использ.-го катализатора	$W_{14}(s) = \frac{1.751 \cdot 10^{-4}}{0.062s + 1}$	$W_{24}(s) = \frac{-2.16 \cdot 10^{-7}s^4 - 4.12 \cdot 10^{-6}s^3 - 3.62 \cdot 10^{-5}s^2}{0.00037s^5 + 0.056s^4 + 0.43s^3 + 0.89s^2 + 1.75s + 1} - \frac{-8.13 \cdot 10^{-5}s - 6.04 \cdot 10^{-5}}{0.00037s^5 + 0.056s^4 + 0.43s^3 + 0.89s^2 + 1.75s + 1}$
Расход воздуха	$W_{15}(s) = 0$	$W_{25}(s) = \frac{0.0028}{0.48s + 1}$

Передаточные функции реактора и регенератора были определены для статического режима, а передаточная функция всего процесса была найдена путем арифметических вычислений.

Третий шаг заключался в определении параметров передаточной функции для каждого канала, которые корректно будут отражать поведение процессов.

После выполнения этих шагов была идентифицирована модель, которая применяется для синтеза системы управления.

Структурная схема системы УПМ для ККН приведена на рис. 6.

Моделирование системы управления с использованием прогнозирующих моделей производилось для различных значений управляющих параметров (температуры в реакторе и регенераторе) и возмущений. Было проведено ряд экспериментов и были найдены оптимальные настройки УПМ-регулятора. Эффективность применяемой системы управления подтверждается путем ее сравнения с системами управления с применением традиционных ПИД-регуляторов.

В заключение, приведены основные выводы и результаты, полученные в диссертационной работе.

Основные результаты работы:

1. Разработаны типовые структуры систем управления на основе УПМ-подходов.
2. На основе исследований физико-химических свойств процесса разработана математическая модель ККН.
3. Проведен анализ современных технологий управления на основе прогнозирующих моделей в перерабатывающей промышленности в результате чего обоснована возможность применения подходов УПМ.
4. Получена упрощенная динамическая модель процесса ККН.
5. Разработана процедуры синтеза УПМ-регулятора для процесса ККН
6. Реализован алгоритм управления установкой каталитического крекинга на основе УПМ-регулятора.
7. Определены оптимальные параметры УПМ-регулятора.
8. Подтверждена эффективность применения УПМ-регулятора для управления технологическим процессом ККН. Алгоритмы управления, содержащиеся в работе, использовались в ЗАО НПФ «ИнСАТ» при создании автоматизированной системы управления для установки подготовки нефти УПН-500.

ОСНОВНЫЕ ТРУДЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Пашаева Б.А., Фархадов М.П. Управление на основе прогнозирующих моделей в системах каталитического крекинга нефти// Вестник Воронежского государственного технического университета (Воронеж). 2013. Том 9, №2, С.78-81 /(0,19п.л./0,16п.л.)
2. Пашаева Б.А. Синтез системы управления процессом каталитического крекинга нефти с использованием прогнозирующей модели// Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона» (Ростов-на-Дону). 2013. №1 <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1485>. (0,75п.л.)
3. Пашаева Б.А., Мин Мин Тун Нейросетевое прогнозирующее управление дистилляционной колонной // Студенческий научный вестник (Москва). 2012. Том XII, Ч. 1. С.54-57 /(0,19п.л./0,1п.л.).
4. Пашаева Б.А. Применение метода управления на основе прогнозирующих моделей в процессах каталитического крекинга нефти // Студенческий научный вестник (Москва). 2012 Том XII, Ч. 1. С.57-63 / (0,38п.л.).
5. Пашаева Б.А., Гаврилов А.И. Применение метода управления на основе прогнозирующих моделей в процессах каталитического крекинга нефти // Молодежный научно-технический вестник (Москва). 2012. <http://sntbul.bmstu.ru/doc/458048.html>. (0,38п.л./0,2п.л.).
6. Нейросетевое прогнозирующее управление технологическими процессами/ Б.А.Пашаева [и др.] // Девятый международный симпозиум «Интеллектуальные системы» (Воронеж). 2010. С. 616-619 / (0,19п.л./0,05п.л.).

7. Гаврилов А.И., Пашаева Б.А. Интеллектуальная система управления каталитическим крекингом нефти// Девятый международный симпозиум «Интеллектуальные системы» (Воронеж). 2010. С. 637-641 / (0,25п.л./ 0,2п.л.).
8. Pashayeva B. Mathematical model of the fluid catalytic cracking for work in testing control systems for the cracking plant// The third international conference «Problems of Cybernetics and Informatics» (Baku, Azerbaijan). 2010. Vol.1 P.328-331 / (0,19п.л.).
9. Pashayeva B. The model predictive control for fluid catalytic process// 3rd international conference on control and optimization with industrial applications (Bikent University, Ankara, Turkey). 2011. P.114-115 / (0,13п.л.).