

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ АТМОСФЕРНОЙ КОЛОННОЙ УСТАНОВКИ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

Э.А. Меликов¹⁾, Н.М. Баннаев²⁾

1) к.т.н., доцент Азербайджанского Государственного Университета Нефти и Промышленности, г. Баку, Азербайджан, elchin03@mail.ru

2) магистр Азербайджанского Государственного Университета Нефти и Промышленности, г. Баку, Азербайджан, nurlanbenna@gmail.com

Аннотация: в данной статье рассматривается задача оптимального управления ректификационной колонной на основе принципа максимума Понтрягина. На основе предложенного комплекса математических моделей и разработанного алгоритма управления строится система управления, обеспечивающая управление технологическим комплексом первичной переработки нефти в оптимальном режиме.

Ключевые слова: первичная переработка, ректификационная колонна, задача оптимального управления, система управления.

OPTIMAL CONTROL OF ATMOSPHERIC COLUMN OF THE PRIMARY OIL REFINING

Elchin A. Malikov¹⁾, Nurlan M. Bannaev²⁾

1) Ph. D., associate Professor, Azerbaijan State University of Oil and Industry, city of Baku, Azerbaijan, elchin03@mail.ru

2) the master Azerbaijan State University of Oil and Industry, city of Baku, Azerbaijan, nurlanbenna@gmail.com

Abstract: This article discusses the problem of optimal control for distillation column based on the Pontryagin maximum principle. Based on the proposed complex of mathematical models and the developed control algorithm, a control system is constructed that ensures the control of the technological complex for primary oil refining in the optimal regime.

Key words: primary processing, distillation column, optimal control problem, control system.

В настоящее время, ввиду непрерывного роста спроса на топливные и энергетические ресурсы, повышение их экономической эффективности путем улучшения глубины переработки, повышения качественных показателей получаемых целевых нефтепродуктов, снижения суммарных

расходов на переработку сырья и промежуточных продуктов в технологических аппаратах, осуществляющих первичную переработку нефти является важным и актуальным вопросом развития экономики [1].

Для ректификационной колонны К-2, считающегося одной из основных технологических аппаратов установки ЭЛОУ-АВТ-6, был рассмотрена задача оптимального управления ею и построения оптимальной автоматической системы управления, основанной на методе максимума Понтрягина. Как известно, ректификационная колонна К-2 является сложным объектом управления с позиции многомерных координат как входа, так и управления, а также управленческих. Еще одна черта, усложняющая вопросы управления в этой колонне, связана с изменением координат состояния случайными законами и отсутствием автоматических анализаторов качества, необходимых для автоматических систем контроля показателей качества производимых целевых продуктов.

Исследования, проведенные в этом комплексе показали, что показатели качества, характеризующиеся температурой таких целевых продуктов, производимых в ректификационной колонне К-2, как бензин, керосин и дизель отличаются от возможной выпускаемой нормы на $10 \div 15$ °С, что с позиции показателей качества, свидетельствует о том, что производство целевых продуктов, непокрывающих спрос, осуществляется в условиях значительных расходов энергии.

В ректификационной колонне К-2 при решении вопроса моделирования использованы данные, полностью отражающие его эксплуатационную деятельность и тепловые балансные уравнения. И потому математические модели этой колонны являются характерными уравнениями, характеризующие его состояние на разных этапах. Если рассматривать в линейной форме математические модели, составляющие динамические режимы колонны, их можно представить в виде:

$$\begin{aligned} \dot{X} &= Ax + Bu \\ Y &= Cx \end{aligned} \quad (1)$$

здесь, $X = \{x_1, x_2, x_3\}$ характеризует вектор состояния,
 $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5\}$ - вектор параметров управления,
 $Y = \{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5\}$ – вектор выхода. Реальные значения матриц А, В, С были получены на основе данных, собранных в результате активного эксперимента, проведенного в колонне К-2.

Учитывая дефицит информации касательно ректификационной колонны К-2, для решения задачи проектирования локальной автоматической системы регулирования, способного обеспечить

стабилизацию оптимальных рабочих режимов, определенных на уровне оперативного управления использован принцип максимума Л.С. Понтрягина. Для упрощения примем математическую модель (1) ректификационной колонны К-2 в виде:

$$\dot{X}(t) = f(x(t), u(t)) \quad (2)$$

Допустим, что начальное условие $x(0) = x_0$ и $x \in \Omega$ характеризует вектор состояния, а $u \in U$ - вектор параметров управления. f же, в зависимости от требуемой точности, может представляться в виде линейных и нелинейных зависимостей.

В рассматриваемом случае сущность задачи оптимального управления посредством управляющих воздействий можно выразить следующим образом: в ректификационной колонне К-2 в каждый момент времени t необходимо так варьировать значениями векторов параметров управления $U(t)$, при котором J , рассматриваемый как критерий управления, характеризующий эффективность режимов переходных процессов параметров настройки регулятора в период управления получил бы свое минимальное значение. То есть,

$$J = \int_0^T L(x(t), u(t)) dt \rightarrow \min, \quad (3)$$

где T – характеризует период управления (его значение задается заранее).

Для решения поставленной задачи оптимального управления согласно принципу максимума, функция Гамильтона представляется в нижеследующем виде:

$$H(x, u, \psi) = L[x(t), u(t)] + \psi^T(t) \cdot f[x(t), u(t)] \quad (4)$$

и требуется такое определение $u = h(x, \psi)$, чтобы он обеспечил свой максимум функции $H(x, u, \psi)$ в интервале $0 \leq t \leq T$. Если $u = h(x, \psi)$ подставить в (4), получим:

$$H^*(x, \psi) = H[x, h(x, \psi), \psi] \quad (5)$$

Далее, решая дифференциальные уравнения в $2n$ количестве, получим нижеследующее:

$$\dot{x}(t) = \frac{dH^*}{d\psi}, \quad x(0) = x_0 \quad (6)$$

$$\dot{\psi}(t) = -\frac{dH^*}{dx}, \quad \psi(T) = \left. \frac{dF}{dx} \right|_{x(T)} \quad (7)$$

В итоге, решая дифференциальные уравнения (6) и (7), определяем $x^*(t)$ и $\psi^*(t)$.

Следовательно, подытоживая стратегию оптимального управления можем определить ее следующим образом:

$$u^*(t) = h[x^*(t), \psi^*(t)] \quad (8)$$

Таким образом, разработанный алгоритм оптимального управления, объединяет в своем составе следующие этапы:

1. Выполняется решение основных и вспомогательных дифференциальных уравнений на основе выражений (6) и (7) и в итоге, соответственно, после нахождения $x^*(t)$ и $\psi^*(t)$, рассчитываются оптимальные значения параметров настройки регулятора.

2. Согласно выражению (8) рассчитываются значения вектора выходного сигнала, который будет генерировать регулятор на основе рассчитанных оптимальных значений параметров настройки [2].

В соответствии с вышеуказанной последовательностью вычисление значений вектора управляющих воздействий на рассматриваемый объект продолжается до тех пор, пока каждый раз изменение одного из входных векторов автоматически не обеспечит достижения критерия (3).

Для оценки показателей качества, характеризующихся температурой кипения нефтяных фракций, производимых в ректификационной колонне К-2 предложенного регулятора с условием минимизации энергетических расходов, необходимых в процессе производства проведена стимуляция эксперимента на компьютере в нижеуказанном содержании.

Управление рассматриваемой установкой в условиях традиционной системы управления при диапазоне изменения температуры начала кипения бензина $43 \div 69$ °С, температуры 50%-го кипения $109 \div 121$ °С, температуры конца кипения же $173 \div 190$ °С результаты решения данной задачи в синтезированном оптимальном регуляторе соответственно были $52 \div 57$ °С, $110 \div 114$ °С и $175 \div 180$ °С. Сравнительный анализ регулятора, для которого был осуществлен оптимальный синтез, с действующей системой регулирования процесса нефтепереработки в ректификационной колонне К-2, свидетельствует о том, что в первом случае по сравнению со вторым отклонение показателей качества, характеризующихся температурой кипения нефтяных фракций от своих оптимальных значений в среднем уменьшилось в $2 \div 2.5$ раза. А это, в свою очередь, способствует снижению энергетических расходов на переработку на $5 \div 7\%$.

Оптимальная автоматическая система управления, созданная на основе разработанного алгоритма оптимизации и принципов автоматического регулирования режимных координат технологической

установки ЭЛОУ-АВТ-6 представляет собой систему с двухуровневой иерархической структурой, действующей в диалоговом режиме (рис.1).

На высшем уровне разработанной системы управления при любых значениях количества и качества сырой нефти, подаваемой на вход установки, определяются оптимальные режимы работы, обеспечивающие производство нефтяных фракций, показатели качества которых отвечают стандартным требованиям, а также улучшение глубины переработки в ректификационных колоннах К-1 и К-2. На этом уровне находятся оптимальные режимы работы аппаратов, обеспечивающие выбранный критерий на основе комплекса разработанных детерминированных и вероятностных математических моделей и с помощью основанного на декомпозиционном принципе разработанного алгоритма оптимизации, а также вычисляются технико-экономические показатели переработки.

На низшем уровне иерархической системы управления для решения задач, предусмотренных в системе осуществляется фильтрация режимных параметров от случайных шумов, первичная переработка информации, оперативная идентификация по каналам управления, оптимальный

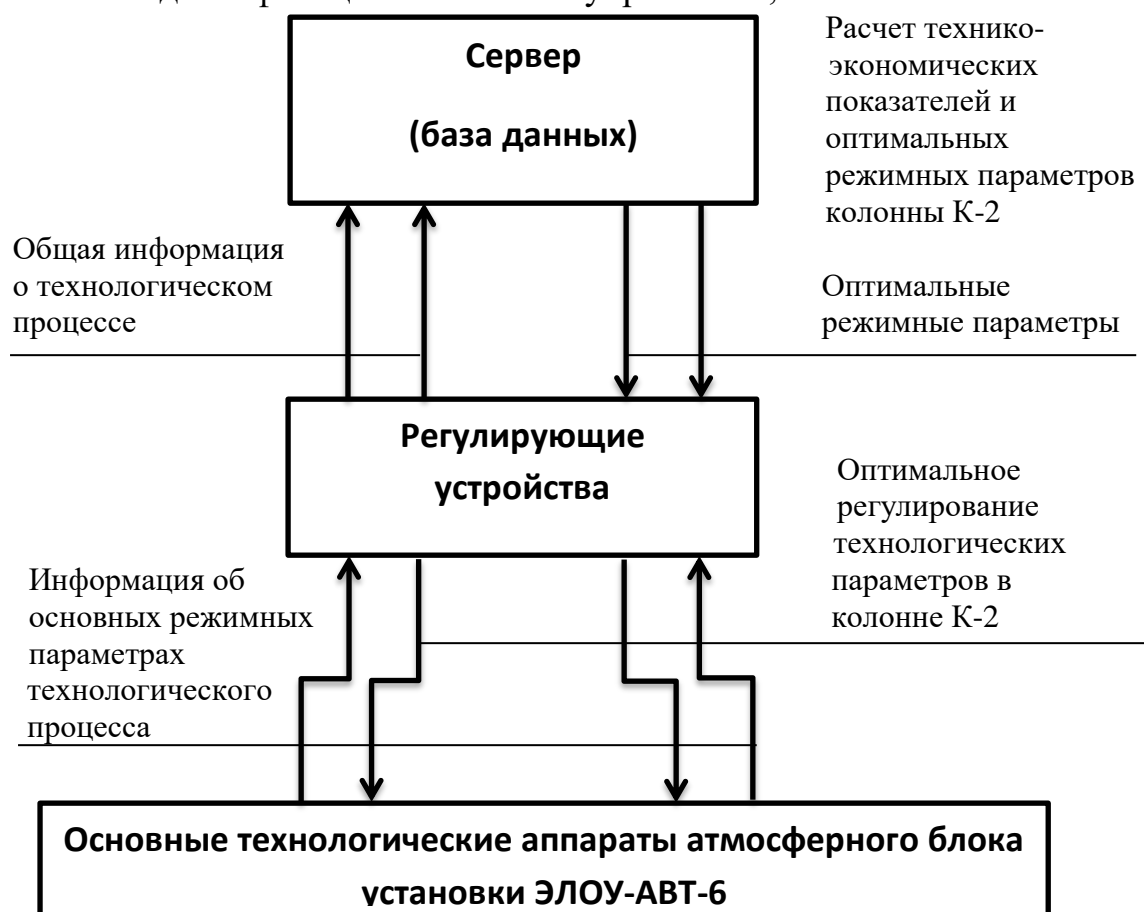


Рис. 1. Функциональная структура двухуровневой автоматической системы управления установкой

автоматический синтез температурных параметров в колоннах К-1 и К-2 и непосредственное автоматическое регулирование. Функционирование разработанной оптимальной системы управления на обоих уровнях осуществляется в диалоговом режиме.

Полученные математические модели и декомпозиционный алгоритм для решения задачи оптимизации показали, что по сравнению с текущими режимами функционирования рассматриваемой установки предложенный подход обеспечивает управление технологическим комплексом первичной переработки нефти в оптимальном режиме.

Список использованных источников:

1. Ибрагимов И.А., Эфендиев И.Р. Методы оптимального управления нефтехимическими технологическими процессами // Теория и применение. – Баку: Элм, 1997. – С. 235-237.

2. Malikov E.A., Xanbutayeva N.A. Algorithm optimization static rejimes installation of primary oil refining, National Science Review // Chinese Academy of Sciences. Oxford University Press. – Chine, 2017. - Issue 4 (2), Volume 4. - P. 1459-1466.

3. Горovenko Л.А. Математические методы компьютерного моделирования физических процессов// Международный журнал экспериментального образования. Пенза: ИД «Академия естествознания», 2017. – №2. – с. 92–93.

4. Шарнов А.И. ВЗАИМОСВЯЗЬ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ПРАВОВЫХ ПРОБЛЕМ В НЕФТЕГАЗОВОМ КОМПЛЕКСЕ РФ // Наука и технологии в нефтегазовом деле Тезисы докладов Международной научно-практической конференции, посвященная 100-летию Кубанского государственного технологического университета и 25-летию кафедры машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов Армавирского механико-технологического института. 2018. С. 226-228.