

# Виробничий досвід

УДК 658.012.011.56.005:681.3.06:665.65

## ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

*Н.А. Ханбутаева, Э.А. Меликов*

*Азербайджанская Государственная Нефтяная Академия, AZ1010, г. Баку, ул. Азадлыг, 20,  
тел. (+994) 12-493-11-07, e-mail: elchin03@mail.ru*

*Описано последовательность разработки моделей та алгоритмов для технологического процесса первичной переработки нефти, а также решение проблемы оптимального управления в форме стохастического программирования для нефтеперерабатывающих технологических процессов с вероятностными характеристиками.*

*Для решения проблемы оптимизации технологической системы методом Лагранжа рассмотрено задачу разработки декомпозиционных алгоритмов та запропонувано метод, основанный на преобразовании начального задания за принципом детерминированного аналога.*

*Рассматривается построение оптимальной системы управления, созданной на основе разработанных моделей, алгоритму оптимизации та принципов автоматического регулирования режимных параметров установки первичной переработки нефти.*

Ключевые слова: оптимизация, регулирование, автоматическая система регулирования

*Описана последовательность разработки моделей и алгоритмов для технологического процесса первичной переработки нефти, а также решение задачи оптимального управления в форме стохастического программирования для нефтеперерабатывающих технологических процессов с вероятностными характеристиками.*

*Для решения задачи оптимизации технологической системы с использованием метода Лагранжа рассмотрена задача разработки декомпозиционных алгоритмов и предложен метод, основанный на преобразовании исходной задачи по принципу детерминированного аналога.*

*Рассматривается построение оптимальной системы управления, созданной на основе разработанных моделей, алгоритма оптимизации и принципов автоматического регулирования режимных параметров установки первичной переработки нефти.*

Ключевые слова: оптимизация, регулирование, автоматическая система регулирования

*In the article algorithms and models are developed for oil refinery technological processes functioning uncertain conditions the process. Decision of a optimum control problem in the form of stochastic programming for oil refining technological processes with probability characteristics. For the decision of optimization tasks of technological systems on the basis of use of Lagranj method the problem of decompositional algorithms development is considered.*

*In the article the method, based on transformation of an initial problem by a principle of the determined analogue, and also a package of algorithms and applied programs for gradient search of the numerical decision of a given task are offered.*

*Article has been devoted to the optimal control system, based on mathematical models, decompositional algorithm of optimization and principles for automatic regulation of rejim's parameters is considered.*

Keywords: optimizing, control, automatic control system

**Введение.** Сегодня в мировой экономике в силу устойчивого спроса на топливно-энергетические ресурсы важным вопросом развития нефтеперерабатывающей промышленности является повышение их эффективности путем увеличения глубины переработки, улучшения

показателей качества нефтепродуктов, а также снижения энергетических затрат технологических установок первичной переработки нефти. На технологических установках первичной переработки нефти типа ЭЛОУ-АВТ из сырой нефти путем подогрева в трубчатых печах до

определенной температуры, а в дальнейшем ректификацией в простых и сложных ректификационных колоннах, получают светлые нефтяные фракции (бензин, керосин, дизель и т.д.). Каждая из фракций характеризуется пятью показателями качества (температурой начала кипения, температурой 5%-го кипения, температурой 10%-го кипения, температурой 50%-го кипения и температурой конца кипения). В настоящее время во всем мире по причине отсутствия технических средств и методов оперативного контроля в промышленных условиях вышеуказанные показатели качества светлых нефтепродуктов определяются традиционными способами, т.е. только в заводских лабораторных условиях. Кроме того, анализ и опыт эксплуатации установки ЭЛОУ-АВТ-6, даже после ее модернизации, показывает, что на первичных нефтеперерабатывающих технологических установках количество сырой нефти, поступающей на переработку, и показатели ее качества не являются постоянными, а изменяются в широком диапазоне по случайным законам. В связи с вышеуказанными обстоятельствами существующие локальные системы контроля и стабилизации режимных параметров, построенных по одноконтурному принципу, не могут обеспечить получения желаемых технико-экономических показателей. Поэтому разработка комплекса математических моделей; осуществление математической формализации физически обоснованной задачи оптимизации с учетом стохастических особенностей координат состояния; разработка алгоритма численного решения задачи стохастического программирования и оптимальный синтез регулятора режимных координат для многоуровневой системы управления технологическим комплексом, осуществляющим первичную переработку нефти, исходные координаты состояния и управления которого изменяются по случайным законам, являются актуальными проблемами как научного, так и экономического значения. Вопросам алгоритмизации оптимального управления и создания на их базе системы оптимального управления сложными нефтехимическими технологическими процессами, описываемыми детерминированными и нечеткими моделями, посвящен ряд научных публикаций [1-4]. С учетом вышеуказанных специфических особенностей функционирования первичных нефтеперерабатывающих процессов в данной статье предлагается комплекс математических моделей и методов оптимизации стохастических режимов на уровне оперативного управления, а также синтез оптимального регулятора для автоматической стабилизации параметров на нижнем ярусе двухуровневой системы управления установкой первичной переработки нефти типа ЭЛОУ-АВТ-6, функционирующего в условиях стохастической неопределенности. Всестороннее исследование вопросов, связанных с разработкой систем управления сложными нефтехимическими технологическими процессами и процессами нефтепереработки, привели авторов к выводу, что техно-

логические процессы первичной переработки нефти должны относиться к классу сложных объектов, характеризующихся недостаточностью информации с позиций информационного обеспечения и по причине отсутствия контроля за показателями качества получаемых нефтяных фракций.

Для математической формализации задачи оптимизации атмосферного блока технологической установки ЭЛОУ-АВТ-6 воспользуемся топологической структурой его технологической схемы (рис. 1).

**Постановка задачи.** В данной статье на основе всестороннего анализа рассматриваемого объекта исследования сформулирована физически обоснованная математическая постановка задачи оптимизации стохастических режимов первичных нефтеперерабатывающих технологических процессов.

Математические модели, характеризующие количественные и качественные показатели выходных фракций, представлены в следующем виде:

$$y_k = \bar{f}_k(x, \rho, \bar{u}_q) + \xi_k, \quad q = \overline{1,7}; \quad (1)$$

$$v_i = \bar{f}_i(x, \rho, \bar{u}_q) + \xi_i^i. \quad (2)$$

Здесь  $y_k$  и  $v_i$  характеризуют соответственно расходы и показатели качества светлых нефтяных фракций;  $x$  – расход сырой нефти, поступающей на переработку;  $\rho$  – показатель качества сырой нефти (удельный вес);  $\bar{u}_q$  – вектор управляющих параметров в ректификационных колоннах (температура в различных точках, давление, уровень и т.д.);  $\xi_k$  и  $\xi_i^i$  – величины, характеризующие погрешности, средние значения которых равны 0.

Из выражений (1) и (2) видно, что функции  $y_k$  и  $v_i$  определяются с определенными погрешностями, поэтому их средние значения можно определить с помощью регрессионных зависимостей  $\bar{f}_k(x, \rho, \bar{u}_q)$  и  $\bar{f}_i(x, \rho, \bar{u}_q)$ . Следовательно, решение задачи оптимизации по усредненным показателям целевых нефтепродуктов нельзя признать корректным, в силу чего такой подход может привести к существенным потерям.

Ограничения на качественные показатели для каждой фракции, получаемой на нефтеперерабатывающей установке, математически можно представить в следующем виде:

$$\underline{b}_i \leq v_i = \bar{f}_i(x_s, \rho, \bar{u}_q) + \xi_i^i \leq \bar{b}_i, \quad i = \overline{1,5}. \quad (3)$$

Здесь  $\underline{b}_i$  и  $\bar{b}_i$  характеризуют соответственно минимальное и максимальное значения показателей качества светлых нефтепродуктов. Все это обуславливает вероятностный характер функциональных ограничений, накладываемых на качественные показатели целевых нефтепродуктов.

$$P(\bar{f}_i(x, \rho, \bar{u}_q)) \geq \alpha_j, j = \overline{1,5}, \quad 0 < \alpha_j \leq 1. \quad (4)$$

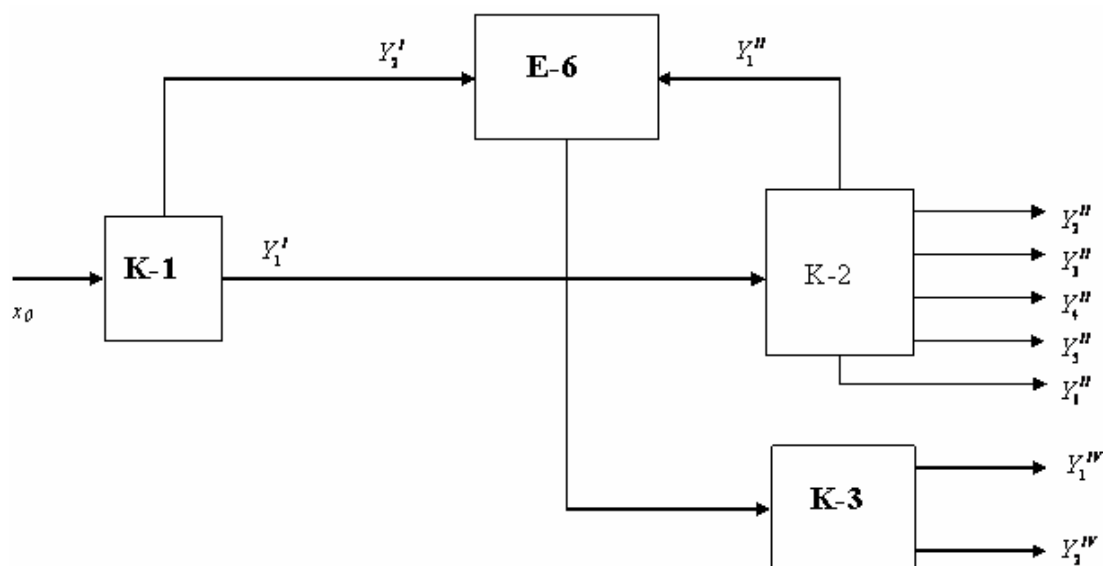


Рисунок 1 – Топологическая структура технологической установки ЭЛОУ-АВТ-6

Значения ограничений на количество и качество целевых светлых нефтепродуктов и вероятность их выполнения задаются технологическим оператором в соответствии с регламентом данного процесса. Также необходимо отметить, что расход выхода каждого светлого нефтепродукта должен быть не меньше потенциальной возможности содержания данной фракции в сырой нефти, т.е.

$$y_k = \bar{f}_k(x, \rho, \bar{u}_q) + \xi_k \geq Q_k, k = \bar{1}, l. \quad (5)$$

Участие в моделях (3) и (5) случайных параметров  $\xi_k$  и  $\xi'_i$ , а также изменение параметров  $x$  и  $\rho$  по случайному закону показывает, что все вышеприведенные ограничения могут выполняться лишь с определенной вероятностью.

Таким образом, оптимизация режимов установки первичной переработки нефти при заданных значениях количества нефти ( $x$ ) и удельного веса ( $\rho$ ) заключается в определении таких значений управляющих параметров  $\bar{u}$  в ректификационных колоннах, которые обеспечивали бы заданные значения качественных показателей каждого светлого нефтепродукта с вероятностью  $p_0$ , а их количества при этом должны быть близки к потенциальным возможностям (содержанию) данной фракции в составе сырой нефти, т.е.

$$y_k \geq Q_k, k = \bar{1}, l$$

$$p(v_i \in B_i, i = \bar{1}, m, \underline{b}_i, \bar{b}_i \in B_i) \geq p_0. \quad (6)$$

В задаче оптимизации в качестве критерия выбран максимум математического ожидания прибыли от реализации целевых нефтяных фракций:

$$\Phi = \max_{u \in U} E \left\{ \sum_{i=1}^N \sum_{k \in BU} c_k y_k - S_j \right\}, \quad (7)$$

где:  $E(\cdot)$  – математическое ожидание;

$S_j$  – характеризует все виды затрат;

$c_k$  – стоимость единицы  $k$ -го вида целевого светлого нефтепродукта.

**Алгоритмизация решения задачи оптимизации.** Как видно из выше сформулированной математической постановки (1)-(7), задача оптимизации процесса первичной переработки нефти является нелинейной задачей стохастического программирования. Для решения данной задачи все виды ограничений, характеризующие материальные потоки, материальные балансы между колоннами, были приняты детерминированными, а ограничения на качественные показатели нефтепродуктов – вероятностными. Задача в подобной постановке является полностью физически обоснованной.

Известно, что одним из главных и важных этапов при создании оптимальных систем управления сложными технологическими процессами является построение адекватных математических моделей. Опыт создания автоматических систем управления различными технологическими процессами показывает, что во многих случаях одной из основных причин их низкой эффективности является отсутствие полной информации при разработке математических моделей. С этой целью при построении комплекса математических моделей основной аппарат технологической установки ЭЛОУ-АВТ-6 для сбора необходимого объема первичных технологических данных, несущих в себе более точную информацию об объекте, на рассматриваемой установке был проведен активный промышленный эксперимент. Для проведения подобного активного эксперимента были разработаны соответствующие алгоритмы и программа. Данные, собранные в результате эксперимента, были использованы для разработки комплекса математических моделей, состоящих из линейных и нелинейных алгебраических уравнений, причем математические мо-

дели построены для всех видов целевых продуктов и их качественных показателей. В процессе моделирования ректификационных колонн данной установки по отдельным координатам также определены математические ожидания, дисперсия, среднеквадратические отклонения, законы распределения и другие важные статистические характеристики. Анализ полученных результатов показывает, что закон распределения основных координат данного процесса является нормальным (или: основные координаты данного процесса имеют нормальный закон распределения)

Как известно, для численного решения нелинейной задачи стохастического программирования в научной литературе известны приближенные и прямые методы [5-7]. Однако, это связано с весьма сложными и громоздкими вычислительными процедурами. Поэтому более практичным является применение методов построения детерминированного аналога. В процессе моделирования получены условные функции распределения  $F(v_i/x)$  случайного вектора  $v_i$ . Используя функцию  $F(v_i/x)$ , стохастическую задачу математического программирования можно привести к эквивалентной детерминированной задаче. Тогда вероятностные ограничения (1.6) можно представить в следующем виде:

$$F(v_i/x) \geq P_{0i}, i = \overline{1,6}.$$

Если осуществить переход от случайных величин  $v_i$  к нормированным погрешностям, то

$$\mathcal{G}_j^i = (\theta_j^i - \bar{v}_i(x)) / \sigma_i,$$

где:  $b_i$  – проверяемые ограничения;  $v_i(x)$  – средние значения качественных показателей бензина, керосина, дизельного топлива, предсказанные регрессионной моделью;  $\sigma_i$  – среднеквадратические отклонения случайного вектора  $v_i$  при фиксированных значениях режимных параметров  $x$ .

Таким образом, все вышеприведенные вероятностные ограничения заменяются на эквивалентные детерминированные:

$$F(\omega_i) \geq P_{0i},$$

в результате чего, исходная нелинейная задача стохастического программирования приводится к стандартному виду.

Для численного решения задачи нелинейного математического программирования в статье предложен модифицированный метод Лагранжа, учитывающий требование по выполнению условий выпуклости математических моделей.

Модифицированная функция Лагранжа для вышепоставленной задачи оптимизации режимов атмосферной части установки первичной переработки нефти имеет следующий вид:

$$L_{\text{mod}}(\lambda, p, x, u) = L(\lambda, x, u) + C \cdot B(p, x, u). \quad (8)$$

Здесь

$$L(\lambda, x, u) = - \sum_{i=2}^5 f_i(x^I, u^I, \xi^I) - f_1^{III}(x^{III}, u^{III}, \xi^{III}) - \lambda_1 [x_1^I - f_2^I(x^I, u^I, \xi^I)] - \lambda_2 \{ x_1^{III} - f_1^I(x^I, u^I, \xi^I) - f_1^{II}(x^{II}, u^{II}, \xi^{II}) \} \quad (9)$$

является классической функцией Лагранжа для рассматриваемой задачи;  $\lambda_1, \lambda_2$  – множители Лагранжа;  $C \cdot B(p, x, u)$  – декомпозирующая функция, являющаяся неотрицательной. Относительно функции  $B(p, x, u)$  приняты нижеследующие соотношения:

$$B^I(p^I, x^I, u^I) = \sum_{k=1}^2 (u_k^I - p_k^I)^2 + (x^I - p^I)^2, \quad (10)$$

$$B^{II}(p^{II}, x^{II}, u^{II}) = \sum_{k=1}^5 (u_k^{II} - p_k^{II})^2 + (x^{II} - p^{II})^2, \quad (11)$$

где  $p = (p^I, p^{II}) \equiv (p_1^I, \dots, p_3^I; p_1^{II}, \dots, p_5^{II})$  выбраны как координирующие параметры.

Последние две функции (10) и (11) являются декомпозирующими функциями задачи (8) на локальные подзадачи меньшей размерности.

Сущность этого алгоритма оптимизации состоит в том, что он включает также и третий уровень, осуществляющий координирующую функцию и соединяющий в себе два других уровня. На координирующем уровне для локальных уровней выбираются такие критерии, после определения множителей Лагранжа которых обеспечивается решение задачи оптимизации и уравнения межблоковой связи на нижнем уровне. В зависимости от результатов решаемых на локальном уровне задач, координирующий уровень формирует такие координатные сигналы  $p^*$ , при которых решение локальных задач обеспечило бы решение основной задачи оптимизации. Учитывая вышеизложенное, для рассматриваемого состояния модифицированную функцию Лагранжа можно записать следующим образом:

$$L_{\text{mod}}(\lambda, x, u, p) = - \sum_{i=2}^5 f_i(u^I, x^I, \xi^I) - f_1^{III}(x^{III}, u^{III}, \xi^{III}) - \lambda_1 (x_1^I - f_2^I(x^I, u^I, \xi^I)) - \lambda_2 (x_1^{III} - f_1^I(x^I, u^I, \xi^I) - f_1^{II}(x^{II}, u^{II}, \xi^{II})) + C \left( \sum_{k=1}^2 (u_k^I - p_k^I)^2 + (x^I - p^I)^2 + \sum_{k=1}^5 (u_k^{II} - p_k^{II})^2 + (x^{II} - p^{II})^2 + \sum_{k=1}^2 (u_k^{III} - p_k^{III})^2 + (x^{III} - p^{III})^2 \right).$$

Так как функция Лагранжа в этом выражении является аддитивной функцией, а композирующая функция  $B(p, x, u)$  – сепарабельной,

при любых выбранных значениях  $\lambda$  и  $p$  задача (9) декомпозируется на локальные задачи оптимизации отдельных аппаратов [8-11]. В этом случае искомые переменные в каждом аппарате будут векторами параметров управления ( $u^j$ ) и векторами параметров входа этих аппаратов ( $x^j$ ).

I.

$$L_{\text{mod}1} = \lambda_1 f_2^I(x_0^I, u^I, \xi^I) + \lambda_2 f_1^I(x_0^I, u^I, \xi^I) + C \left\{ \sum_{k=1}^2 (u_k^I - p_k^I)^2 + (x^I - p^I)^2 \right\}; \quad (12)$$

$$130 \leq u_1^I \leq 160 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$180 \leq u_2^I \leq 260 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$660 \leq x^I \leq 1200 \text{ m}^3 / \text{saat};$$

$$p \left\{ 40 = \underline{\theta}_1^I \leq x_{1QB}^I \leq \bar{\theta}_1^I = 50 \right\} \geq 0.94;$$

$$p \left\{ 100 = \underline{\theta}_2^I \leq x_{250\%}^I \leq \bar{\theta}_2^I = 110 \right\} \geq 0.94;$$

$$p \left\{ 170 = \underline{\theta}_3^I \leq x_{3QS}^I \leq \bar{\theta}_3^I = 180 \right\} \geq 0.94.$$

II.

$$L_{\text{mod}2} = -\sum_{i=1}^5 f_i^{II}(u^II, x^II, \xi^II) - \lambda_4 x^II + \lambda_2 f_1^{II}(x^II, u^II, \xi^II) + C \left\{ \sum_{k=1}^2 (u_k^{II} - p_k^{II})^2 + (x^{II} - p^{II})^2 \right\}; \quad (13)$$

$$110 \leq u_1^{II} \leq 120 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$330 \leq u_2^{II} \leq 345 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$120 \leq u_3^{II} \leq 165 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$160 \leq u_4^{II} \leq 220 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$230 \leq u_5^{II} \leq 265 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$800 \leq x^{II} \leq 1200 \text{ m}^3 / \text{saat};$$

$$p \left\{ 40 = \underline{\theta}_1^{II} \leq x_{1QB}^{II} \leq \bar{\theta}_1^{II} = 70 \right\} \geq 0.94;$$

$$p \left\{ 100 = \underline{\theta}_2^{II} \leq x_{150\%}^{II} \leq \bar{\theta}_2^{II} = 115 \right\} \geq 0.94;$$

$$p \left\{ 197 = \underline{\theta}_2^{II} \leq x_{2QB}^{II} \leq \bar{\theta}_2^{II} = 235 \right\} \geq 0.94;$$

$$p \left\{ 255 = \underline{\theta}_2^{II} \leq x_{250\%}^{II} \leq \bar{\theta}_2^{II} = 310 \right\} \geq 0.94;$$

$$p \left\{ 305 = \underline{\theta}_2^{II} \leq x_{2QS}^{II} \leq \bar{\theta}_2^{II} = 360 \right\} \geq 0.94,$$

где  $\lambda_1, \lambda_2$  – неизвестные множители Лагранжа, характеризующие связи между подзадачами. В пределах указанных значений этих параметров

решаются локальные задачи для отдельных аппаратов рассматриваемой установки:

$$L_j(\lambda, p) = \min_{x^j, u^j \in D} L_{\text{mod}j}(\lambda, p, u, x), \quad j = \overline{1,3}. \quad (14)$$

На верхнем уровне решается следующая задача:

$$\max_{\lambda} L(\lambda, p) = \max_{\lambda} \min_{x^j, u^j \in D} L_j(\lambda, p, u, x).$$

Решение задачи оптимизации продолжается до тех пор, пока не выполнится следующее условие:

$$\sum_{j=1}^3 \left[ (u_k^j)^{k+1} - (u_k^j)^k \right]^2 + \sum_{j=1}^3 \left[ (x_k^j)^{k+1} - (x_k^j)^k \right]^2 \leq \varepsilon,$$

где  $\varepsilon$  – точность решения задачи оптимизации.

Таким образом, алгоритм, обеспечивающий численное решение задачи оптимизации (12)–(14), состоит из следующих этапов:

1) на основе градиентного метода, согласно условию (14) решаются подзадачи (12) и (13);

2) проверяются начало кипения нефтепродуктов, условия ограничений с характеристикой вероятности для температуры 50%-го и температуры конца кипения. Для этого:

а) вычисляются  $x_{j\{QB; 50\%; QS\}}(u_q^i, x_s^i, \xi_\gamma^i)$ ;

б) вычисляются  $g_j^i = \frac{\theta_j^i - x_{j\{i\}}^i}{\sigma_j}$ ;

в) определяется  $F(g_j^i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{g_j^i} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ ;

г) проверяется выполнение условия ограничений  $F(g_j^i) \geq \alpha_j^i$ ;

3) определяются параметры  $\lambda_j$ , обеспечивающие выполнение материального баланса между ректификационными колоннами К-1, К-2 и К-3;

4) после проверки выполнения всех условий ограничений в каждой ректификационной колонне рассчитываются оптимальные значения входных параметров и параметров управления.

На основе разработанных выше комплекса вероятностных моделей и декомпозиционного алгоритма оптимизации, учитывающего случайные особенности входных потоков рассматриваемого объекта, авторами предложена оптимальная автоматическая система управления установкой ЭЛОУ-АВТ-6, представляющая собой систему с двухуровневой иерархической структурой, функционирующей в диалоговом режиме. На верхнем уровне предложенной системы управления при любых значениях количественных и качественных показателей сырой нефти, поступающей на вход установки, определяются оптимальные рабочие режимные параметры, способные обеспечить получение нефтяных фракций в ректификационных колоннах К-1 и К-2, отвечающих стандартным

Таблица 1

Качественные показатели бензина	Расход бензина $M^3/ч$		$\sigma_2^I$	$\bar{\theta}_2^I$	$\bar{y}_2^I$	$F(y_2^I/x)$	$\alpha_i$	$u_1^I, ^0C$	$u_1^{II}, ^0C$
	Текущий	Оптимальный							
Температура начала кипения	38	47	3.33	44	40.25	1.1	0.94	133	120
Температура 50%-го кипения			5	116	107	1.8	0.94		
Температура конца кипения			10.34	195	181	1.4	0.94		

- $\sigma_2^I$  - среднеквадратическое отклонение;
- $\bar{\theta}_2^I$  - граничное значение качественного показателя;
- $\bar{y}_2^I$  - среднее значение качественного показателя;
- $\alpha_i$  - минимальное значение вероятности;
- $u_1^I$  - температура верха колонны К-1;
- $u_1^{II}$  - температура верха колонны К-2.

требованиям показателей глубины переработки и качества нефтяных фракций. На этом уровне выбранный критерий оптимизации обеспечивается и достигается с помощью разработанного комплекса детерминированных и вероятностных математических моделей, а также алгоритма оптимизации, основанного на декомпозиционном принципе. Результаты решения задачи нахождения оптимальных стохастических режимов работ вышеупомянутых ректификационных колонн иллюстрируется таблице 1.

В зависимости от количества и типа сырой нефти, поочередно поступающих на переработку, вычисляются также технико-экономические показатели процесса переработки нефти.

На нижнем ярусе разработанной оптимальной системы управления установкой первичной переработки нефти с целью стабилизации оптимальных рабочих режимных параметров технологического процесса предлагается самонастраивающаяся адаптивная система регулирования температурными координатами ректификационной.

Здесь с целью компенсации малых изменений, воздействующих на качественные показатели получаемых нефтяных фракций, определяется корректирующая величина. Полученная коррекция, в зависимости от возмущений, поступающих на вход ректификационных колонн, позволяет рассчитать новое задающее воздействие, что обеспечивает оперативную реакцию даже на небольшие изменения возмущений (настройку), а в дальнейшем оперативный выход на оптимальные заданные режимы работы технологической установки с минимальными затратами.

Алгоритм функционирования предлагаемой системы регулирования на примере температуры верха ректификационной колонны по выходу бензина реализуется в виде синтезированного самонастраивающегося регулятора с элементами адаптации, осуществляющегося в виде следующих правил:

$$\begin{aligned}
 &\text{если } \begin{cases} \tilde{T}_{бенз}^{тек} \in T_{бенз}^0, \\ T_{бенз}^{тек} = T_{бенз}^{зад} \pm \varepsilon, \end{cases} \\
 &\text{то } P_K = 0, \quad \tilde{T}_{бенз}^{зад} = \tilde{T}_{бенз}^{зад}, \\
 &\text{если } \begin{cases} \tilde{T}_{бенз}^{тек} \geq T_{бенз}^0, \\ T_{бенз}^{тек} \geq T_{бенз}^{зад} \pm \varepsilon, \end{cases} \\
 &\text{то } P_K = C_f(t) \frac{\Delta F_{орош}}{2}, \quad \tilde{T}_{бенз}^{зад} = \tilde{T}_{бенз}^{зад} + P_K; \\
 &\text{если } \begin{cases} \tilde{T}_{бенз}^{тек} \leq T_{бенз}^0, \\ T_{бенз}^{тек} \leq T_{бенз}^{зад} \pm \varepsilon, \end{cases} \\
 &\text{то } P_K = C_f(t) \frac{\Delta F_{орош}}{2}, \quad \tilde{T}_{бенз}^{зад} = \tilde{T}_{бенз}^{зад} - P_K,
 \end{aligned}$$

где:  $\tilde{T}_{бенз}^{тек}$  – текущее значение температуры верха ректификационной колонны;  $T_{бенз}^{зад}$  – заданное значение температуры верха колонны;  $T_{бенз}^0$  – допустимая область изменения температуры верха колонны;  $\varepsilon$  – величина, характеризующая отклонение температуры, с помощью которой вычисляется корректирующий сигнал в рассматриваемой автоматической системе регулирования.

**Заключення.** Отличие и преимущество предложенной автоматической системы управления от других существующих систем [12, 13] заключается в обеспечении получения стабильного качества нефтяных фракций, так как в рассматриваемой системе в реальном масштабе времени предусмотрена компенсация воздействия различного рода возмущающих факторов на качественные показатели нефтепродуктов. Вышеуказанная компенсация осуществляется на каждом из двух уровней, причём на нижнем уровне малые изменения компенсируются с помощью самонастраивающихся циклов регулирования, большие же возмущающие воздействия на верхнем уровне – с помощью разработанного выше алгоритма оптимизации стохастических режимов технологической установки. А это, в свою очередь, по сравнению с существующими традиционными автоматическими системами обеспечивает получение требуемого стандартного качества нефтяных фракций топливного и масляного профилей с минимальными энергетическими затратами.

Для оценки показателей качества, характеризующихся температурой кипения нефтяных фракций, получаемых в ректификационной колонне с использованием регулятора и условием минимизации энергетических затрат, необходимых в процессе производства, была проведена симуляция эксперимента на вычислительной машине следующим образом: если при управлении установкой с помощью традиционной системы управления диапазон изменения температуры начала кипения бензина составляла 43-69°C, температура 50%-го кипения – 109-121°C, температура конца кипения – 173-190°C, то в результате решения рассматриваемой выше задачи оптимизации с помощью синтезированного самонастраивающегося регулятора эти показатели примут значения соответственно 52-57°C, 110-114°C и 175-180°C. Сравнительный анализ регулятора, для которого был проведен оптимальный синтез с действующей системой регулирования процесса нефтепереработки в ректификационной колонне К-2, свидетельствует о том, что во втором случае отклонение показателей качества по сравнению с первым, характеризующимся температурой кипения нефтяных фракций, от своих оптимальных значений в среднем уменьшилось в 2-2,5 раза, что способствует снижению энергетических затрат на переработку нефти на 5-7%.

Полученные результаты разработанного комплекса математических моделей, декомпозиционного алгоритма для решения задачи оптимизации и построенного на их базе автоматической системы управления показали, что по сравнению с текущими режимами функционирования рассматриваемой установки предложенный подход и принципы автоматического регулирования режимных параметров установки обеспечивают управление технологическим комплексом первичной переработки нефти в оптимальном режиме.

Будучи универсальными, полученные выше научные и практические результаты вне-

дрены на установках первичной переработки нефти нефтеперерабатывающих предприятий Республики в 2003-2007 гг., что подтверждается соответствующими актами внедрения.

### Литература

- 1 Одна задача оптимизации нестационарных реакторов / Т.М.Алиев, Р.А.Алиев, И.Р.Эфендиев // Автоматика и телемеханика. – АН СССР. – 1975. – №2. – С.18-27.
- 2 Модели и алгоритмы многоуровневой оптимизации на примере АСУ нефтехимического производства / Т.М. Алиев, Р.А. Алиев, И.Р. Эфендиев, А.М. Гаджиев // Автоматика и телемеханика. – АН СССР. – 1978. – №6. – С.29-38.
- 3 Методы оптимального управления нестационарным реактором в нечетких условиях / И.Р. Эфендиев, В.Т Копысицкий // Доклады АН СССР. – 1991. – том. 318, №3. – С.49-57.
- 4 Управление режимами реакторного блока производства этилена в нечетко определенных ситуациях / И.Р. Эфендиев, В.Т Копысицкий // Изв. «Российская Академия наук. Теоретические основы химической технологии». – 1993. – №5. – С.58-69.
- 5 Ермольев Ю.М. Методы стохастического программирования / Ю.М.Ермольев. – М.: Наука, 1976. – 126 с.
- 6 Аоки М. Оптимизация стохастических систем / М. Аоки. – М.: Наука, 1971. – 201 с.
- 7 Островский Г.М. Математические методы решения экономических задач / Г.М. Островский, А.М. Брусиловский. – М.: Наука, 1980. – 189 с.
- 8 Дудников Е.Е. Типовые задачи оперативного управления непрерывным производством / Е.Е. Дудников, Ю.М. Цодиков. – М.: Энергия, 1979. – 152 с.
- 9 Родинцев Н.Е. Оптимизация управления нелинейными стохастическими системами с ограничениями / Н.Е. Родинцев // Автоматика и телемеханика. – 2001. – № 2. 87. – С.87-92.
- 10 Analysis and Assessment of Interaction in Process Control Systems / Khelassi A. // Ph.D. University of Nottingham. England. – 1991. – №4. – PP. 31-39.
- 11 System identification and control design. Englewood Cliffs., N.J.: / I.D. Landau // Prentice-Hall. – 1990. – №3. – PP. 45-52.
- 12 Adaptive signal processing algorithms. Stability and Performance. Englewood Cliffs. N.J. / V.Solo, X.Kong // Prentice-Hall. – 1995. – №2. – PP. 55-59.
- 13 Принципы построения самообучающихся систем автоматического управления сложными технологическими процессами в условиях дефицита информации / И.А.Ибрагимов, И.Р.Эфендиев, В.Т.Копысицкий, Э.А. Меликов // Доклады АН СССР. – 1991. – Том 320. №6. – С.46-59.

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
26.04.11*

*Рекомендована до друку професором  
Кондратом Р.М.*