

# МОДЕЛИРОВАНИЕ И АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ СТОХАСТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПРОЦЕССА ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ



**И. Р. Эфендиев**, *докт. техн. наук,*  
**Э. А. Меликов**, *канд. техн. наук,*  
**Н. А. Ханбутаева**

**Введение.** В мировой экономике в силу устойчивого спроса на топливно-энергетические ресурсы повышение их эффективности путем увеличения глубины переработки, улучшения показателей качества нефтепродуктов, снижения энергетических расходов на переработку в технологических установках нефтеперерабатывающих предприятий, осуществляющих первичную переработку нефти, является важным вопросом развития нефтеперерабатывающей промышленности. На промышленных установках первичной переработки нефти типа ЭЛОУ-АВТ из сырой нефти путем подогрева в трубчатых печах до определенной температуры, а в дальнейшем – ректификации в простых и сложных ректификационных колоннах получают светлые нефтяные фракции: бензин, керосин, дизельное топливо и т.д. Каждая из них характеризуется такими показателями качества: температура начала кипения; температура 5%-ного кипения; температура 10%-ного кипения; температура 50%-ного кипения; температура конца кипения. Необходимо отметить, что все указанные качественные показатели светлых нефтепродуктов в настоящее время из-за отсутствия технических средств и методов оперативного контроля в промышленных условиях определяются только в заводских лабораторных условиях традиционными способами. 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 величинами, а меняются по случайным законам в широком диапазоне. В связи с этим существующие локальные системы контроля и стабилизации режимных параметров, построенных по одноконтурному принципу, не могут обеспечить получение желаемых технико-экономических показателей. Поэтому разработка комплекса математических моделей, осуществление математической формализации физически обоснованной задачи опти-

мизации с учетом стохастических особенностей координат состояния, разработка алгоритма численного решения задачи стохастического программирования и на уровне автоматического регулирования оптимальный синтез регулятора режимных координат для многоуровневой системы управления технологическим комплексом, осуществляющим первичную переработку нефти, исходные координаты состояния и управления которого меняются по случайным законам, являются актуальными и имеют как научное, так и экономическое значение. 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 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, функционирующей в условиях стохастической неопределенности. Всестороннее исследование вопросов, связанных с разработкой систем управления сложными нефтехимическими технологическими процессами и процессами нефтепереработки, привели авторов к выводу, что технологические процессы первичной переработки нефти должны относиться к классу сложных объектов, характеризующихся недостаточным информационным обеспечением и отсутствием контроля за показателями качества производимых нефтяных фракций.

Для математической формализации задачи оптимизации атмосферного блока технологической установки ЭЛОУ-АВТ-6 его технологическая схема рассматривается как объект исследования (рис. 1)

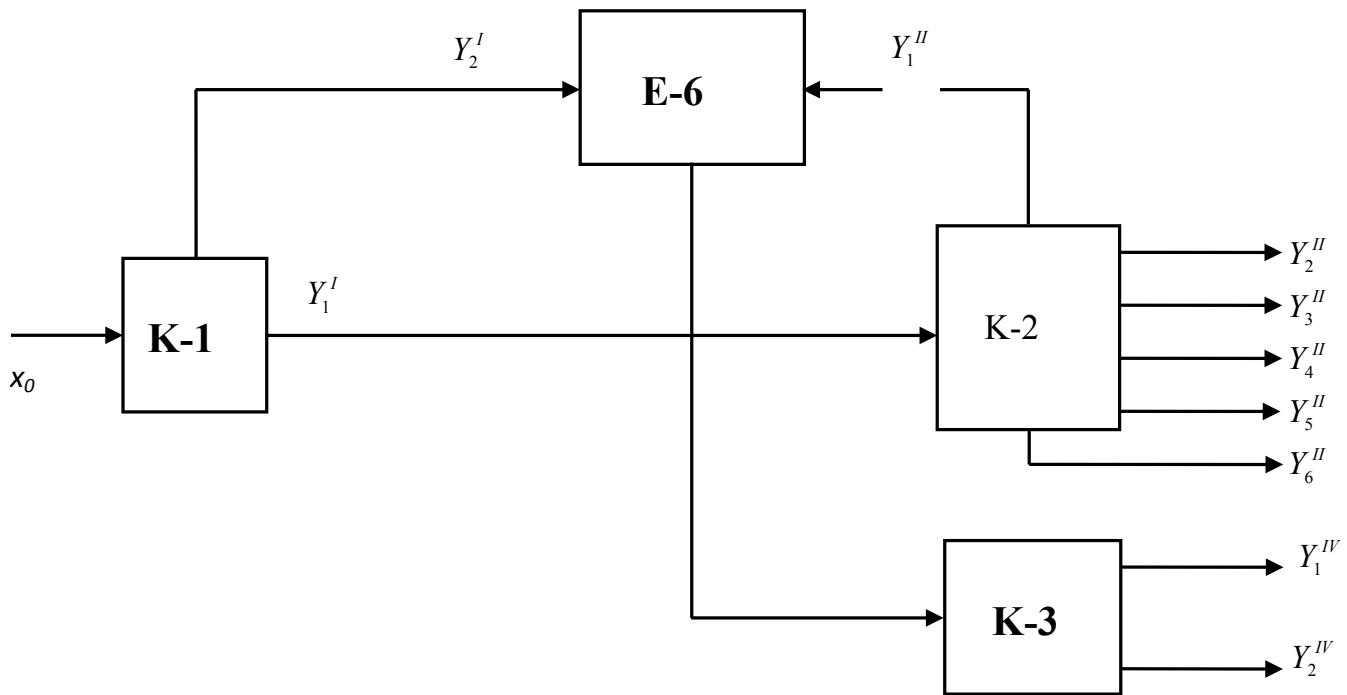


Рис. 1. Топологическая структура технологической установки ЭЛОУ-АВТ-6

В данной статье 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:

$$y_k = \bar{y}_k(x_s, \rho, \bar{u}) + \xi_k, \quad (1)$$

$$v_i = \bar{v}_i(x_s, \rho, \bar{u}) + \xi'_i, \quad (2)$$

где,  $y_k$  и  $v_i$  – характеризуют соответственно расходы светлых нефтяных фракций и показатели качества;

$x_s$  – расход сырой нефти, поступающей на переработку;

$\rho$  – показатель качества сырой нефти (удельный вес),

$\bar{u}$  – вектор управляющих параметров в ректификационных колоннах (температура в различных точках, давление, уровень и т.д.).

Из выражений (1) и (2) видно, что функции  $y_k$  и  $v_i$  определяются с некоторыми погрешностями и поэтому их средние значения можно определить с помощью регрессионных зависимостей  $\bar{y}_k(x_s, \rho, \bar{u})$  и  $\bar{v}_i(x_s, \rho, \bar{u})$ . В связи с этим решение задачи оптимизации по усредненным показателям целевых нефтепродуктов нельзя признать корректным, вследствие чего такой подход может привести к существенным потерям.

Ограничения на качественные показатели в каж-

дой фракции, получаемой на нефтеперерабатывающей установке, математически можно представить в следующем виде:

$$\underline{b}_i \leq v_i = \bar{v}_i(x_s, \rho, \bar{u}) + \xi'_i \leq \bar{b}_i, i = \overline{1, m}, \quad (3)$$

где  $\underline{b}_i$  и  $\bar{b}_i$  – характеризуют допустимые минимальные и максимальные значения показателей качества светлых нефтепродуктов.

Все это обусловило вероятностный характер функциональных ограничений, накладываемых на качественные показатели целевых нефтепродуктов. Значения ограничений на выпуск и качество целевых светлых нефтепродуктов и вероятность их выполнения задаются технологом-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.:

$$y_k = \bar{y}_k(x_s, \rho, \bar{u}) + \xi_k \geq Q_k, k = \overline{1, l} \quad (4)$$

Участие в моделях (3) и (4) случайных параметров  $\xi_k$  и  $\xi'_i$ , а также изменение параметров  $x_s$  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 ( $x_s$ ) и удельного веса ( $\rho$ ) заключается в определении таких значений управляющих параметров  $\bar{u}$  в ректификационных колоннах, при

которых показатели качества получаемых светлых нефтепродуктов обеспечивались бы заданной вероятностью  $P_0$ , а их количество при этом должно быть близко к потенциальным возможностям (содержанию) данной фракции в составе сырой нефти, т.е.:

$$p(y_k \geq Q_k, v_i \in B_i, i = \overline{1, m}, \underline{b}_i, \overline{b}_i \in B_i; k = \overline{1, l}) \geq p_0 \quad (5)$$

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

$$\Phi = \max_{U \in \overline{V}} E \left\{ \sum_{i=1}^N \sum_{k \in B\overline{U}} c_k y_k - d(x) \right\}, \quad (6)$$

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

$d(x)$  – характеризует все виды затрат (энергетические, сырьевые и т.д.);

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

**Алгоритмизация решения задачи оптимизации.** Как видно из выше сформулированной математической постановки (1)–(6), 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 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 основных аппаратов 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 его алгоритмы и программа. Данные, собранные в результате эксперимента способствовали разработке математических моделей 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 статисти-

ческие характеристики. Анализ полученных результатов показывает, что закон распределения основных координат данного процесса имеет нормальный закон распределения.

Как известно, для численного решения нелинейной задачи стохастического программирования в научной литературе известны приближенные и прямые методы [5–6]. Однако это связано с весьма громоздкими вычислительными процедурами. Поэтому более практичным является применение методов определения детерминированного аналога [7].

Для численного решения задачи нелинейного математического программирования в статье предложен модифицированный метод Лагранжа, учитывающий требование по выполнению условий выпуклости математических моделей [2].

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

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

$$\text{где } L(\lambda, x, u) = -\sum_i^5 f_i(x^{\text{II}}, u^{\text{II}}, \xi^{\text{II}}) - f_i^{\text{III}}(x^{\text{III}}, u^{\text{III}}, \xi^{\text{III}}) - \lambda_1 [x_1^{\text{II}} - f_1^{\text{I}}(x^{\text{I}}, u^{\text{I}}, \xi^{\text{I}})] - \lambda_2 [x_2^{\text{III}} - f_2^{\text{I}}(x^{\text{I}}, u^{\text{I}}, \xi^{\text{I}})] - f_i^{\text{II}}(x^{\text{II}}, u^{\text{II}}, \xi^{\text{II}}) \quad (9)$$

является классической функцией Лагранжа для рассматриваемой задачи;

$\lambda_1, \lambda_2$  – множители Лагранжа;

$C \cdot B(p, x, u)$  – декомпозирующая функция, являющаяся неотрицательной.

Касательно функции  $B(p, x, u)$  приняты нижеследующие отношения:

$$B(p, x, u) = \sum_{k=1, \text{II}, \text{III}} B^j(p^k, x^k, u^k), \quad (10)$$

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

$$B^{\text{II}}(p^{\text{II}}, x^{\text{II}}, u^{\text{II}}) = \sum_{k=1}^5 (u_k^{\text{II}} - p_k^{\text{II}})^2 + (x^{\text{II}} - p^{\text{II}})^2, \quad (12)$$

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

Последние две функции (10) и (12) являются декомпозирующими функциями задачи (8).

Функции (10) ÷ (12) формируют функцию декомпозирующую в задачу оптимизации (8) на свои составные части и обладающую следующими особенностями:

1.  $B(p, x, u)$  – сепарабельная функция;

2.  $B(p^0, x^0, u^0) = 0, \forall (x^0, u^0), g(x^0, u^0) = 0,$

где  $p^0 = ((u_1^I)^0, (u_2^I)^0, (x^I)^0, (u_1^{\text{II}})^0, \dots, (u_5^{\text{II}})^0, (x^{\text{II}})^0, (u_1^{\text{III}})^0, (u_2^{\text{III}})^0, (x^{\text{III}})^0)$

3. Все миноры функции Qesse  $\nabla^2 B(p^0, x^0, u^0)$  –положительны. Поэтому выполнение условия  $h' \nabla^2 B(p, x, u)h > 0, \forall h$ обеспечивает выпуклость функции.

Сущность этого алгоритма оптимизации состоит в том, что он включает в свой состав также третий уровень, осуществляющий координационную функцию относительно метода множителя Лагранжа, который соединяет в себе два других уровня. На координационном уровне для локальных уровней выбираются такие критерии, при которых они, определяя множители Лагранжа, обеспечили бы решение задачи оптимизации и уравнения межблоковой связи на низком уровне. В результате этого, в зависимости от итогов решаемых на локальном уровне задач, координационный уровень формулирует такие координационные 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:

$$L_{\text{mod}}(\lambda, x, u, p) = -\sum_{i=2}^5 f_i(u^i, x^i, \xi^i) - f_1^{\text{III}}(x^{\text{III}}, u^{\text{III}}, \xi^{\text{III}}) - \lambda_1(x_1^{\text{II}} - f_2^{\text{II}}(x^{\text{I}}, u^{\text{I}}, \xi^{\text{I}})) - \lambda_2(x_1^{\text{III}} - f_1^{\text{I}}(x^{\text{I}}, u^{\text{I}}, \xi^{\text{I}})) - f_1^{\text{III}}(x^{\text{III}}, u^{\text{III}}, \xi^{\text{III}}) + C \left( \sum_{k=1}^2 (u_k^{\text{I}} - p_k^{\text{I}})^2 + (x^{\text{I}} - p^{\text{I}})^2 + \sum_{k=1}^5 (u_k^{\text{II}} - p_k^{\text{II}})^2 + (x^{\text{II}} - p^{\text{II}})^2 + \sum_{k=1}^2 (u_k^{\text{III}} - p_k^{\text{III}})^2 + (x^{\text{III}} - p^{\text{III}})^2 \right) \quad (13)$$

В этом выражении в связи с тем, что функция Лагранжа является аддитивной функцией, а композиционирующая функция  $B(p, x, u)$  – сепарабельной, при любых выбранных значениях  $\lambda$  и  $p$  задачи (13) 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 ( $x^j$ ).

$$I. L_{\text{mod}_1} = \lambda_1 f_2^{\text{I}}(x_0^{\text{I}}, u^{\text{I}}, \xi^{\text{I}}) + \lambda_2 f_1^{\text{I}}(x_0^{\text{I}}, u^{\text{I}}, \xi^{\text{I}}) + C \left\{ \sum_{k=1}^2 (u_k^{\text{I}} - p_k^{\text{I}})^2 + (x^{\text{I}} - p^{\text{I}})^2 \right\}$$

$$140 \leq u_1^{\text{I}} \leq 160 \text{ } ^\circ\text{C}; 180 \leq u_2^{\text{I}} \leq 260 \text{ } ^\circ\text{C}; 660 \leq x^{\text{I}} \leq 1200 \text{ m}^3/\text{saat}.$$

$$p \left\{ 40 = \underline{\theta}_1^{\text{I}} \leq x_{1QB}^{\text{I}} \leq \bar{\theta}_1^{\text{I}} = 50 \right\} \geq 0.94 \quad (14)$$

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

$$p \left\{ 70 = \underline{\theta}_3^{\text{I}} \leq x_{3QS}^{\text{I}} \leq \bar{\theta}_3^{\text{I}} = 180 \right\} \geq 0.94$$

$$II. L_{\text{mod}_2} = -\sum_{i=1}^5 f_i(u^{\text{II}}, x^{\text{II}}, \xi^{\text{II}}) - \lambda_1 x^{\text{II}} + \lambda_2 f_1^{\text{II}}(x^{\text{II}}, u^{\text{II}}, \xi^{\text{II}}) + C \left\{ \sum_{k=1}^2 (u_k^{\text{II}} - p_k^{\text{II}})^2 + (x^{\text{II}} - p^{\text{II}})^2 \right\}$$

$$105 \leq u_1^{\text{II}} \leq 110 \text{ } ^\circ\text{C}; 330 \leq u_2^{\text{II}} \leq 345 \text{ } ^\circ\text{C}; 120 \leq u_3^{\text{II}} \leq 165 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (15)$$

$$160 \leq u_4^{\text{II}} \leq 220 \text{ } ^\circ\text{C}; 230 \leq u_5^{\text{II}} \leq 265 \text{ } ^\circ\text{C}; 800 \leq x^{\text{II}} \leq 1200 \text{ m}^3/\text{saat}.$$

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

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

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

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

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

$$III. L_{\text{mod}_3} = -f_1^{\text{III}}(x^{\text{III}}, u^{\text{III}}, \xi^{\text{III}}) - \lambda_2 \cdot x_1^{\text{III}} + C \left\{ \sum_{k=1}^2 (u_k^{\text{III}} - p_k^{\text{III}})^2 + (x^{\text{III}} - p^{\text{III}})^2 \right\}$$

$$55 \leq u_1^{\text{III}} \leq 90 \text{ } ^\circ\text{C}; 130 \leq u_2^{\text{III}} \leq 205 \text{ } ^\circ\text{C}; 130 \leq x^{\text{III}} \leq 305 \text{ m}^3/\text{saat}.$$

$$p \left\{ 33 = \underline{\theta}_1^{\text{III}} \leq x_{1QB}^{\text{III}} \leq \bar{\theta}_1^{\text{III}} = 48 \right\} \geq 0.94 \quad (16)$$

$$p \left\{ 68 = \underline{\theta}_2^{\text{III}} \leq x_{250\%}^{\text{III}} \leq \bar{\theta}_2^{\text{III}} = 78 \right\} \geq 0.94$$

$$p \left\{ 15 = \underline{\theta}_3^{\text{III}} \leq x_{3QS}^{\text{III}} \leq \bar{\theta}_3^{\text{III}} = 172 \right\} \geq 0.94$$

Здесь,  $\lambda_1, \lambda_2$  – это неизвестные множители Лагранжа, характеризующие связи между подзадачами. В пределах указанных значений этих параметров решаются локальные задачи отдельных аппаратов.

$$L_j(\lambda, p) = \min_{x^j, u^j \in D} L_{\text{mod}_j}(\lambda, p, u, x), \quad j = \overline{1,3}, \quad (17)$$

На верхнем уровне решается следующая задача:

$$\max_{\lambda} L(\lambda, p) = \max_{\lambda} \min_{x^j, u^j \in D} L_j(\lambda, p, u, x), \quad (18)$$

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

$$\sum_{j=1}^3 \left[ (u_k^j)^{k+1} - (u_k^j)^k \right]^2 + \sum_{j=1}^3 \left[ (x_k^j)^{k+1} - (x_k^j)^k \right]^2 \leq \varepsilon \quad (19)$$

здесь,  $\varepsilon$  - точность решения задачи оптимизации.

Таким образом, алгоритм, обеспечивающий численное решение задачи оптимизации (14) ÷ (17) состоит из следующих этапов:

1) на основе градиентного метода, согласно условию (17) решаются подзадачи (14) ÷ (16);

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

а) вычисляется  $x_{j\{QB; 50\%; QS\}}(u_q^i, x_s^i, \xi^i)$

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

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 колонне рассчитываются оптимальные значения входных параметров и параметров управления.

На основе разработанных выше комплекса вероятностных моделей и декомпозиционного алгоритма оптимизации, учитывающих случайные особенности входных потоков рассматриваемого объекта, предложена оптимальная система управления установкой ЭЛОУ-АВТ-6. Она представляет собой систему с двухуровневой иерархической структурой, действующей в диалоговом режиме (рис. 2).

На высшем уровне предложенной системы управления при любых значениях количества и качества сырой нефти, поступающей на вход установки, определя-

ются оптимальные рабочие режимные параметры, способные обеспечить получение нефтяных фракций в ректификационных колоннах К-1 и К-2, отвечающих стандартным 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.

Здесь в зависимости от количества и типа сырой нефти, поочередно поступающих на переработку, также вычисляются технико-экономические показатели процесса переработки. На этом уровне, в зависимости от количества и типа сырой нефти, поочеред-

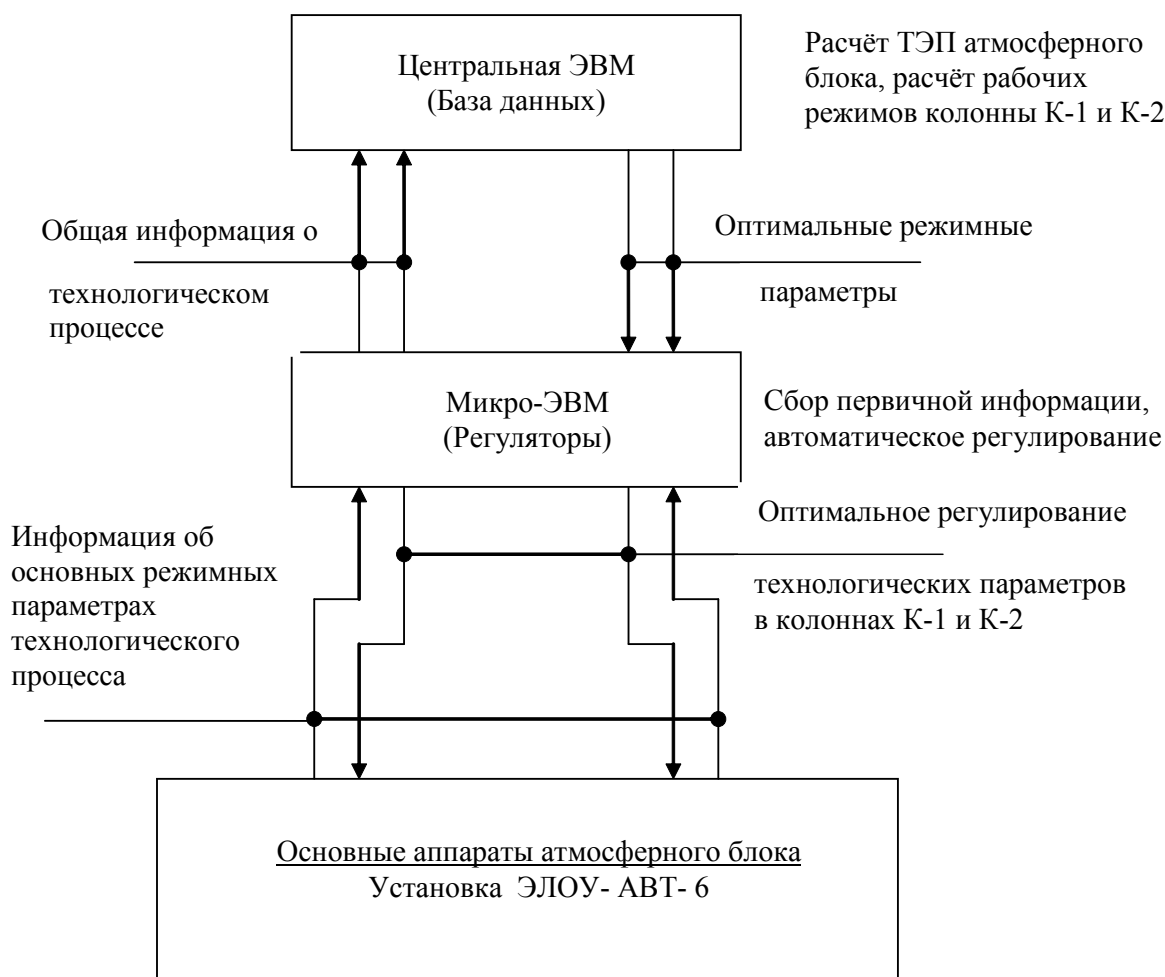


Рис.2. Функциональная структура оптимальной системы управления установкой ЭЛОУ- АВТ- 6

но поступающих на переработку, также вычисляются технико-экономические показатели переработки.

На низшем уровне решаются следующие задачи: для режимных параметров, необходимых для решения задач, предусмотренных в автоматической системе управления, осуществляется очищение от случайных шумов, обработка первичной информации, оперативная идентификация по управляющим каналам, оптимальный синтез температуры в колоннах К-1 и К-2 и непосредственное автоматическое регулирование.

**Заключение.** Полученные результаты разработанного комплекса математических моделей, декомпозиционного алгоритма для решения задачи оптимизации и построенной 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.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев Т. М., Алиев Р. А., Эфендиев И. Р. Одна задача оптимизации нестационарных реакторов // АН СССР, Автоматика и теле-

механика. – 1975. – №2.

2. Алиев Т. М., Алиев Р. А., Эфендиев И. Р., Гаджиев А. М. Модели и алгоритмы многоуровневой оптимизации на примере АСУ нефтехимического производства // АН СССР, Автоматика и телемеханика. – 1978. – №6.

3. Эфендиев И. Р., Копысицкий В. Т. Методы оптимального управления нестационарным реактором в нечетких условиях. Доклады АН СССР, 1991. Т. 318, №3.

4. Эфендиев И. Р., Копысицкий В. Т. Управление режимами реакторного блока производства этилена в нечетко определенных ситуациях. Изв. «Российская Академия наук. Теоретические основы химической технологии» №5, 1993.

5. Ермольев Ю. М. Методы стохастического программирования. М: Наука, 1976, 239 с.

6. Аоки М. Оптимизация стохастических систем. М.: Наука, 1971, 424 с.

7. Дудников Е. Е., Цодиков Ю. М. Типовые задачи оперативного управления непрерывным производством. М.: Энергия-1979, 272 с.

8. Родинцев Н. Е. Оптимизация управления нелинейных стохастических систем с ограничениями. Автоматика и телемеханика. – 2001. – №2. – 87 с.

9. Khelessi A. Analysis and Assessment of Interaction in Process Control Systems. PhD, University of Nottingham, England. 1991.

10. Landau I. D. System identification and control design. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1990.

11. Solo V., Kong X. Adaptive signal processing algorithms. Stability and Performance. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1995.



## ТРАНСФЕР ТЕХНОЛОГІЙ

### Машинобудування

#### ПНЕВМОІМПУЛЬСНА УСТАНОВКА

**Призначена** для очищення матеріалів і деталей складної конфігурації.

#### Галузі застосування:

- машинобудування – очищення, мийка й знежирення деталей від забруднень органічного й неорганічного походження;
- сфера послуг – чищення й прання одягу, текстильних виробів, хутра;
- гірничозбагачувальна галузь – знезалізнення кварцових і формувальних пісків, польових шпатів.

**Опис.** Ключовим елементом устаткування є імпульсний пневмоакустичний випромінювач, функціональним призначенням якого є інжекція стисненого газу в газоподібні або рідкі середовища для порушення акустичних коливань. Акустичні коливання роблять ефективно очищення як зовнішньої поверхні, так і

внутрішніх порожнин і глухих отворів виробу розміром до 1 мм. У більшості випадків процес очищення деталей здійснюється без нагрівання миючої рідини.

#### Технічна характеристика

Джерело живлення	220 В, 50 Гц
Обсяг миючої камери	30 – 500 л
Споживана потужність пневмовипромінювача	50 Вт
Енергія, витрачена на 1 кг очищеної продукції, кДж:	
з підігрівом води	50
без підігріву води	15

#### Переваги:

- операції очищення, віджиму й сушіння виробів виконуються в одній установці;
- за рахунок імпульсного режиму роботи знижується енергоспоживання;
- скорочується час на миття виробів;
- підвищується якість очищення виробів складної конфігурації;
- знижується собівартість очищення виробів;
- є можливість очищати дисперсні матеріали;