ХИМИЧЕСКИЕ, НЕФТЕХИМИЧЕСКИЕ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 519.6:66.001.57

ИНТЕГРИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ МНОГОАССОРТИМЕНТНЫХ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ*

Г.М. Островский, Д.С. Дворецкий, С.И. Дворецкий

Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова, Москва;
ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

Рецензент В.Ф. Калинин

Ключевые слова и фразы: гибкое автоматизированное производство азокрасителей и пигментов; интегрированный синтез; многокритериальная оптимизация; неопределенные параметры; процедура ветвей и границ; стохастическая оптимизация; функция гибкости.

Аннотация. Сформулированы новые постановки задачи интегрированного проектирования энергосберегающих многоассортиментных химико-технологических систем в условиях неопределенности. Определены подходы к разработке модифицированных (быстрых) алгоритмов вычисления функции гибкости энергосберегающих многоассортиментных химико-технологических систем и решения двухэтапных задач стохастической оптимизации для практически важных случаев. С использованием процедуры ветвей и границ предлагаются модифицированные алгоритмы для решения этих задач. Приводится пример интегрированного проектирования энергосберегающей многоассортиментной химико-технологической системы в производстве азокрасителей.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 06-08-96327.

Островский Г.М. – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией «Математическое моделирование» Научно-исследовательского физико-химического института им. Л.Я. Карпова, Москва; Дворецкий Д.С. – кандидат технических наук, докторант, доцент кафедры «Технологическое оборудование и пищевые технологии» ТГТУ; Дворецкий С.И. – доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе ТГТУ; заведующий кафедрой «Технологическое оборудование и пищевые технологии» ТГТУ.

Введение

При интегрированном проектировании энергосберегающих многоассортиментных химико-технологических систем (**МХТС**) итерационно решаются несколько основных задач [1, 2]: 1) определение оптимального ассортимента выпускаемой продукции; 2) выбор структуры и альтернативных вариантов аппаратурного оформления МХТС, класса и структуры системы автоматического управления (**САУ**) МХТС, обеспечивающих выполнение условия гибкости в жесткой и/или мягкой (вероятностной) формах; 3) определение конструктивных, управляющих и настроечных параметров комплекса «МХТС – САУ» из решения одно- и/или двухэтапной задачи многокритериальной стохастической оптимизации.

Разработанная нами методология интегрированного синтеза в условиях неопределенности [3] позволяет определить оптимальные коэффициенты запаса технического ресурса комплекса «МХТС – САУ», что и обеспечивает выполнение проектных ограничений по качеству продукции, безопасности осуществления технологических процессов, природосбережению и технико-экономическим показателям независимо от имеющихся неопределенностей в исходной физической, химической, технологической и экономической информации. При этом усредненные показатели энерго- и ресурсосбережения МХТС достигают оптимальных значений и, в то же время, не уступают мировым достижениям в этой области.

Оценка эффективности функционирования многоассортиментной ХТС не может быть выполнена с применением одного критерия. При интегрированном синтезе необходимо использовать несколько критериев, которые могут находиться в конфликте друг с другом. Например, экономический критерий может находиться в конфликте с фактором влияния работы МХТС на состояние окружающей среды, а также с критерием, учитывающим эффективность работы системы управления. Это требует привлечения к интегрированному синтезу МХТС идей и методов многокритериальной оптимизации.

В настоящей работе дается анализ возможных постановок одно- и многокритериальных оптимизационных задач при наличии неопределенностей в исходной информации, вводится их новая формулировка, более полно учитывающая особенности энергосберегающих МХТС, и обсуждаются некоторые подходы к их решению.

1. Новые постановки задачи интегрированного проектирования энергосберегающих МХТС и модифицированные алгоритмы их решения

Рассмотрим вначале задачу определения оптимального ассортимента Ω^* выпускаемой продукции из множества Ω_0 всех возможных ассортиментов, которая может быть сформулирована как задача минимизации суммы единовременных затрат $f(\Omega)$ на создание гибкого комплекса «МХТС – САУ» и потерь Ψ из-за невозможности выпуска проектируемой МХТС ассортимента ω, т.е.

$$\Omega^* = \mathrm{Arg}\min_{\Omega\in\Omega_0}\left(f(\Omega) + \frac{1}{T}\int_0^T\left[\int_B \Psi(\omega,t)\mu(\omega,t)P(d\omega,t) \Big/ \int_B \mu(\omega,t)P(d\omega,t) \right] dt \right),$$

при ограничениях $\Omega_{зад} \in \Omega$ и $f(\Omega) \le f_{доп}$, где Ω_0 – исходное множество всех возможных ассортиментов продукции; $\Omega_{зад}$ – множество обязательных ассортиментов для выпуска проектируемой МХТС; f, $f_{доп}$ – текущие и допустимые затраты на создание МХТС; $P(d\omega,t)$ – вероятностная мера, определенная на размытом множестве $B \cong \Omega_0 \setminus \Omega$; $\mu(\omega,t)$ – зависящая от времени функция принадлежности ω к множеству B; T – рассматриваемый период времени функционирования МХТС.

В основе определения формы целевой функции $f(\Omega)$ и проектных ограничений в задаче интегрированного проектирования в условиях неопределенности лежит концепция двух этапов «жизни» МХТС: этапа проектирования и этапа эксплуатации.

Будем называть комплекс «МХТС – САУ» гибким, если на этапе эксплуатации ограничения могут быть выполнены за счет соответствующей подстройки управляющих переменных z. Требуется определить такие конструктивные переменные d^*, при которых гарантируется гибкость МХТС для любого ассортимента $\omega \in \Omega^*$ независимо от изменения внешних и внутренних неопределенных факторов ξ в заданных пределах $\xi \in \Xi$.

Получим условие гибкости, и дадим формулировки задач стохастической оптимизации в условиях неопределенности для практически важных случаев.

Задача А. На этапе эксплуатации все параметры могут быть определены точно в каждый момент времени (либо прямым измерением, либо в результате решения обратной задачи на основе информации, полученной в результате измерений), и управляющие переменные z могут быть использованы для обеспечения выполнения проектных ограничений. Для этого случая можно записать условие гибкости

$$F^{(1)}(\Omega^*, d) = \max_{\xi\in\Xi}\min_{z}\max_{j\in J} g_j(\Omega^*, d, z, \xi) \le 0 \qquad (1)$$

и формулировку задачи оптимизации

$$f_1^*(\Omega^*) = \min_d\Big(M\Big\{ f^*(\Omega^*, d, z, \xi)\Big\} \,|\, F^{(1)}(\Omega^*, d) \le 0 \Big), \qquad (2)$$

где

$$f^*(\Omega^*, d, \xi) = \min_z\Big(f(\Omega^*, d, z, \xi) \,|\, g_j(\Omega^*, d, z, \xi) \le 0,\ j = 1,...,m \Big). \qquad (3)$$

Задача Б. Вектор неопределенных параметров ξ состоит из двух подвекторов ξ^1 и ξ^2. Для фиксированного момента времени на этапе эксплуатации значения $\xi^1 \in \Xi^1$ известны, а ξ^2 может принимать любые значения из области Ξ^2. Для этого случая условие гибкости может быть приведено к следующему виду

$$F^{(2)}(\Omega^*, d) = \max_{\xi^1 \in \Xi^1} \min_z \max_{\xi^2 \in \Xi^2} \max_{j \in J} g_j(\Omega^*, d, z, \xi) \le 0 . \qquad (4)$$

Разберем вопрос, связанный с представлением критерия оптимизации. Для фиксированного момента времени будем иметь следующую постановку задачи стохастической оптимизации

$$f^*(\Omega^*, d, \xi^1) = \min_z M_{\xi^2} \left\{ f(\Omega^*, d, z, \xi) \,|\, \max_{\xi^2 \in \Xi^2} g_j(\Omega^*, d, z, \xi^1, \xi^2) \le 0, j = 1, ..., m \right\}.$$

В качестве критерия оптимизации задачи в целом должно быть взято математическое ожидание по ξ^1 от величины $f^*(\Omega^*, d, \xi^1)$. В результате придем к следующей задаче

$$f_2^*(\Omega^*) = \min_d \left(M_{\xi^1} \left\{ f^*(\Omega^*, d, \xi^1) \right\} | \, F^{(2)}(\Omega^*, d) \le 0 \right). \qquad (5)$$

Используя дискретную аппроксимацию выражения (5), с помощью квадратурной формулы после несложных преобразований получим

$$f_2^*(\Omega^*) \cong \min_{d, z^i} \sum_{i \in I_1, l \in I_2} \gamma_{il} f\left(\Omega^*, d, z^i, \xi^{1i}, \xi^{2l}\right) \qquad (6)$$

при условиях

$$\max_{\xi^2 \in \Xi^2} g_j\left(\Omega^*, d, z^i, \xi^{1i}, \xi^2\right) \le 0, \; j = 1, ..., m, \; i \in I_1 ; \qquad (7)$$

$$F^{(2)}(\Omega^*, d) \le 0 ,$$

где $\gamma_{il} = \gamma_i \nu_l$; ν_l, γ_i – весовые коэффициенты; I_1, I_2 – множества индексов аппроксимационных точек в областях Ξ^1 и Ξ^2 соответственно.

Если функция плотности распределения не известна, весовые коэффициенты и множества аппроксимационных точек должен назначать пользователь на основе интуиции и знания процесса.

Остановимся на вычислении функции гибкости и решении задачи оптимизации. Представим $F^{(2)}(\Omega^*, d)$ в виде

$$F^{(2)}(\Omega^*, d) = \max_{\xi^1 \in \Xi^1} h\left(\Omega^*, d, \xi^1\right), \qquad (8)$$

где $h(\Omega^*, d, \xi^1) = \min_z \max_{\xi^2 \in \Xi^2} \max_{j \in J} g_j\left(d, z, \xi^1, \xi^2\right)$.

Следовательно, вычисление функции гибкости $F^{(2)}(\Omega^*, d)$ сводится к максимизации функции $h(\Omega^*, d, \xi^1)$ в области Ξ^1. Для максимизации будем использовать метод ветвей и границ, в соответствии с которым максимум функции $h(\Omega^*, d, \xi^1)$ ищется с помощью деления области Ξ^1 на подобласти. Для реализации метода ветвей и границ необходимо построить алгоритм для вычисления верхней оценки функции $F^{(2)}(\Omega^*, d)$. Получим этот алгоритм.

Изменим порядок выполнения двух операций при вычислении $F^{(2)}(\Omega^*, d)$, и обозначим полученное выражение через $F^{(2)}_{\text{мод}}(\Omega^*, d)$. В результате получим

$$F^{(2)}_{\text{мод}}(\Omega^*, d) = \min_{z} \max_{j \in J} \max_{\xi \in \Xi} g_j(d, z, \xi), \tag{9}$$

где $\Xi = \Xi^1 \times \Xi^2$.

Таким образом, выражение для верхней оценки функции гибкости $F^{(2)}(\Omega^*, d)$ имеет тот же вид, что и выражение для верхней оценки функции гибкости $F^{(1)}(\Omega^*, d)$ в задаче А [4]. Выше описана процедура использования метода ветвей и границ для вычисления функции гибкости $F^{(1)}(\Omega^*, d)$. Процедура вычисления функции $F^{(2)}(\Omega^*, d)$ будет близка к этой процедуре. Различие будет лишь в том, что в случае задачи А поиск ведется во всей области Ξ, а в случае задачи Б – в области Ξ^1.

Рассмотрим теперь задачу

$$f_i^U = \min_{d} M_\xi \left\{ f^*(\Omega^*, d, \theta) \right\}, \tag{10}$$

$$F^{(i)}_{\text{мод}}(\Omega^*, d) \le 0,$$

где $i = 1$ или $i = 2$; $\theta = \xi$, если $i = 1$; $\theta = \xi^1$, если $i = 2$.

Легко показать, что $f_i^* \le f_i^U$. Следовательно, решение задачи (10) дает верхнюю оценку оптимального значения критерия оптимизации задачи (2) или (5).

Аналогично функции $F^{(i)}_{\text{мод}}(\Omega^*, d)$, введенной для всей области Ξ или Ξ^1, можно ввести функцию $F^{(i)}_{\text{мод},s}(\Omega^*, d)$ для любой подобласти $\Xi_s \subseteq \Xi$ или $\Xi_s \subseteq \Xi^1$. Пусть Ξ или Ξ^1 разбиты на подобласти Ξ_s: $\Xi_1 \cup \Xi_2 \cup ... \cup \Xi_N = \begin{cases} \Xi, & i = 1, \\ \Xi^1, & i = 2. \end{cases}$

Рассмотрим задачу

$$f_i^{U,N} = \min_{d} M_\xi \left\{ f^*(\Omega^*, d, \theta \right\}, \tag{11}$$

$$F^{(i)}_{\text{мод},1}(\Omega^*, d) \le 0, ..., F^{(i)}_{\text{мод},N}(\Omega^*, d) \le 0. \tag{12}$$

В работе [5] было показано, что для $i=1$ выполняются следующие неравенства:

$$f_1^* \le f_1^{U,N} \le f_1^U .$$

Это означает, что дробление Ξ на подобласти улучшает верхнюю оценку. Легко убедиться, что то же самое имеет место и в случае задачи Б.

Модифицированный метод решения оптимизационных задач (2), (5) в полной мере использует данное свойство. На каждой итерации верхняя оценка $f_i^{U,N}$, $i=1,2$ подсчитывается в результате решения задачи (11), (12), и проводится дробление некоторых из подобластей Ξ_s. При этом используется следующее правило: на данной итерации только те подобласти Ξ_s подвергаются делению, для которых ограничения (12) активны.

Модифицированный алгоритм.

Будем обозначать через $\Xi_s^{(\nu)}$ $(s=\overline{1,N^{(\nu)}})$ подобласти, на которые разбивается область Ξ на ν-ой итерации.

Шаг 1. Положить $\nu=0$. Выбрать начальное разбиение области Ξ на подобласти $\Xi_s^{(0)}(s=\overline{1,N^{(0)}})$ и начальное значение вектора $d^{(0)}$ вектора d.

Шаг 2. Решить задачу (11), (12). Пусть $f^{(\nu)}$ и $d^{(\nu)}$ – оптимальные значения целевой функции и вектора d конструктивных параметров.

Шаг 3. Определить множество $S^{(\nu)}$ номеров активных ограничений $F_{\text{мод},s}(\Omega^*,d^{(\nu)})=0,\ s\in S^{(\nu)}$. Очевидны соотношения

$$F_{\text{мод},s}(\Omega^*,d^{(\nu)}) > F_{\text{мод},i}(\Omega^*,d^{(\nu)}),\ \forall s\in S^{(\nu)},\ i\ne s .$$

Шаг 4. Если множество $S^{(\nu)}$ – пустое, то решение задачи (11), (12) найдено, в противном случае перейти к шагу 5.

Шаг 5. Проверить выполнение условия

$$r\left(\Xi_s^{(\nu)}\right) \le \varepsilon_1 \quad \forall s\in S^{(\nu)},$$

где $r(\Xi_s)$ – размер подобласти Ξ_s; ε_1 – заранее заданное малое число.

Если это условие выполняется, то итерационную процедуру закончить. В противном случае перейти к шагу 6.

Шаг 6. Разбить каждую подобласть $\Xi_s^{(\nu)}$ $(s\in S^{(\nu)})$ на две подобласти $\Xi_{s_1}^{(\nu+1)}$, $\Xi_{s_2}^{(\nu+1)}$ $(s\in S^{(\nu)})$.

Шаг 7. Положить $\nu:=\nu+1$ и перейти к шагу 2. Поскольку $\Xi_{s_1}^{(\nu+1)}\subset\Xi_s^{(\nu)}$, $\Xi_{s_2}^{(\nu+1)}\subset\Xi_s^{(\nu)}$, то $F_{\text{мод},s}^{(\nu)}\ge F_{\text{мод},s_1}^{(\nu+1)}$, $F_{\text{мод},s}^{(\nu)}\ge F_{\text{мод},s_2}^{(\nu+1)}$ и $f^{(\nu)}\ge f^{(\nu+1)}$.

Приведенный выше алгоритм позволяет определить локальный минимум задачи (11), (12). Заметим, что в основе алгоритма лежит идея метода ветвей и границ. Действительно, на каждой итерации разбиению подвергается та подобласть Ξ_s, в которой верхняя оценка величины F является наибольшей. Условие $r(\Xi_s^{(\nu)}) \le \varepsilon_1 \quad \forall s \in S^{(\nu)}$, гарантирует прекращение итерационной процедуры, только если области $\Xi_s^{(\nu)} \quad (s \in S^{(\nu)})$, будут достаточно малы. Фактически поиск можно прекратить при выполнении условия $\left| f^{(\nu)} - f^{(\nu+1)} \right| \le \varepsilon_2$, где ε_2 – достаточно малое число.

Задача В. Будем предполагать, что в задаче интегрированного проектирования МХТС имеется две группы ограничений. В первую группу с индексами $j \in J_1 = (1,2,...,m_1)$ входят жесткие и во вторую группу с индексами $j \in J_2 = (m+1,...,m)$ – «мягкие» (вероятностные) ограничения. Кроме того, вектор ξ состоит из подвекторов ξ^1 и ξ^2, причем $\xi^1 \in \Xi^1$ и $\xi^2 \in \Xi^2$. Для фиксированного момента времени на этапе эксплуатации значение ξ^1 известно, а ξ^2 может принимать любое значение из области Ξ^2.

Пусть на стадии эксплуатации МХТС задача оптимизации может быть записана в виде

$$f^*(\Omega^*, d, \xi^1) = \min_z M_{\xi^2} \left\{ f(\Omega^*, d, \xi) \right\}, \tag{13}$$

при ограничениях

$$\max_{\xi^2 \in \Xi^2} g_j(\Omega^*, d, \xi) \le 0, \quad j - 1,2,...,m_1, \tag{14}$$

$$\Pr ob_{\xi^2} \left[g_j(\Omega^*, d, z, \xi) \le 0 \right] \ge \rho_{зад}, \quad j = m_1,...,m. \tag{15}$$

Тогда задача интегрированного проектирования МХТС может быть сформулирована в следующем виде

$$f_3^*(\Omega^*) = \min_d \int_{\Xi^1} f^*(\Omega^*, d, \xi^1) P(\xi^1) d\xi^1 \tag{16}$$

при условиях (13) – (15).

Постановка (13) – (16) хорошо отвечает той часто распространенной на практике ситуации, когда вектор ξ^1 изменяется медленно и может быть идентифицирован на стадии эксплуатации МХТС достаточно точно, а вектор ξ^2 изменяется быстро и его надежная идентификация затруднена или даже невозможна.

В дискретном варианте постановки задачи интегрированного проектирования (13) – (16) должно быть добавлено условие гибкости МХТС [6]

$$F^{(3)}(\Omega^*, d) = \max_{\xi^1 \in \Xi^1} \min_z \max_{\xi^2 \in \Xi^2} \max_{j \in J} g_j(\Omega^*, d, z, \xi) \le 0. \tag{17}$$

Задача Г. В детерминированном случае задача многокритериальной оптимизации МХТС на этапе проектирования может быть сформулирована следующим образом:

$$\min_{d\in D, z\in Z}\left(f_1(d,z),...,f_p(d,z)\right),\ \ g(d,z)\le 0\,,$$

где d, z – векторы конструктивных и управляющих переменных; $g(d,z)$ – вектор-функция левых частей ограничений (технологических, экологических, регламентных и др.). Главным понятием в задаче многокритериальной оптимизации является понятие множества Парето не улучшаемых (по всем критериям) точек. После того, как это множество получено, лицо, принимающее решение (**ЛПР**), производит выбор точки из него с учетом знаний о процессе и инженерных соображений.

В случае задачи с неопределенностью критерии и ограничения зависят, кроме d, z, еще и от вектора ξ, который может принимать произвольные значения в некоторой области Ξ (обычно Ξ – гиперотрезок): $f_k = f_k(d,z,\xi)$, $g = g(d,z,\xi)$. При этом задача (для этапа проектирования) становится двухэтапной, и основная сложность в реализации корректной формулировки задачи состоит в том, что конструктивные и управляющие переменные имеют разные характеристики.

Введем следующую оптимизационную задачу:

$$f^*(d,\xi,\alpha) = \min_z (f(d,z,\xi,\alpha) = \sum_{k=1}^{p}\alpha_k f_k(d,z,\xi),\ \ g(d,z,\xi)\le 0\,, \qquad (18)$$

где параметры α_k удовлетворяют условию $\sum_{k=1}^{p}\alpha_k = 1,\quad \alpha_k \ge 0,$ $k = 1,2,...,p$. Далее введем (с помощью операции усреднения) функции $\bar{f}_k(d,\alpha)$, основанные на использовании решения $z^*(d,\xi,\alpha)$ задачи (18),

$$\bar{f}_k(d,\alpha) = \int_{\Xi} f_k\left(d, z^*(d,\xi,\alpha),\xi\right)P(\xi)d\xi\,, \qquad (19)$$

где $P(\xi)$ – плотность вероятности распределения параметра ξ. Очевидно, что функции $\bar{f}_k(d,\alpha)$ будут получены, если на этапе эксплуатации ХТС в каждый момент времени в качестве значения управления z брать решение задачи (18) (с тем ξ, которое в данный момент времени имеет место в реальном процессе). Теперь применим метод сверток к критериям $\bar{f}_k(d,\alpha)$ с тем же (векторным) параметром α, который был использован в задаче (18). Отметим, что новые критерии $\bar{f}_k(d,\alpha)$ не зависят от вектора управляющих переменных z. В результате придем к задаче

$$\min_d \bar{f}(d,\alpha) = \min_d \sum_{k=1}^{p}\alpha_k \bar{f}_k(d,\alpha)\,. \qquad (20)$$

Проанализируем полученный результат. Для каждого ξ вектор управлений z определяется в результате решения задачи (18) при данных

d, α, т.е. в результате решения задачи методом сверток. Таким образом, полученное решение z принадлежит обычному множеству Парето для критериев $f_k(d, z, \xi)$. Теперь рассмотрим значения $\overline{f}_k(d, \alpha)$, найденные при решении задачи (20). Они также будут соответствовать одной из точек множества Парето, но уже для функций $\overline{f}_k(d, \alpha)$. Таким образом, решив задачу (20) для множества значений параметра α, получим некоторое множество точек, которое является подмножеством множества Парето (в выпуклом случае – всем множеством Парето) в пространстве критериев $\overline{f}_k(d, \alpha)$. Из этого множества ЛПР с помощью инженерных расчетов делает окончательный выбор точки (d, α) ($\overline{d}$ – решение задачи (20) при выбранном $a = \overline{a}$) как решения задачи многокритериальной оптимизации. Этот результат оказывается справедливым в силу того, что функции $f(d, z, \xi, \alpha)$ и $f(d, \alpha)$ зависят от α линейным образом. Построенное в этом случае множество в пространстве критериев можно рассматривать как некий аналог (или обобщение) обычного множества Парето. Данное множество будем называть ЛПР-множеством.

Предположим, что ЛПР выбрало точку $\left(\overline{d}, \overline{\alpha}\right)$, принадлежащую ЛПР-множеству в качестве решения задачи многокритериальной оптимизации. Тогда, если на этапе эксплуатации ХТС в каждый момент времени будет решаться задача (18) и в качестве управляющего вектора z будет браться ее решение $z^*(d, \xi, \alpha)$, то среднее значение $f_k(\overline{d}, z, \xi)$ будет равно $\overline{f}_k\left(\overline{d}, \overline{\alpha}\right)$. Таким образом, решение $\left(\overline{d}, \overline{\alpha}\right)$ может быть реализовано, и постановка задачи (20) оказывается корректной.

От задачи (20) можно перейти к эквивалентной задаче

$$\min_{d, z(\xi)} \int_{\Xi} \left(\sum_{k=1}^{p} \alpha_k f_k\left(d, z(\xi), \xi\right) \right) P(\xi) d\xi, \tag{21}$$

$$\forall \xi \in \Xi \quad g(d, z(\xi), \xi) \le 0 \tag{22}$$

или $\chi(в) = \max_{\xi} \min_{z} \max_{j \in J} g(d, z(\xi), \xi) \le 0$, где J – множество индексов ограничений; χ – функция гибкости ХТС.

В задаче (21), (22) для вычисления целевой функции при заданном d многомерный интеграл вычисляется один раз.

2. Интегрированное проектирование гибкой МХТС производства азокрасителей

При интегрированном проектировании энергосберегающих комплексов «МХТС – САУ» решение двухэтапных задач стохастической оптимизации А, Б, В осуществлялось модифицированными методами с использованием процедуры ветвей и границ. В качестве аппаратурно-технологического оформления МХТС азокрасителей применялись прогрессивные непрерывные способы осуществления процессов тонкого органического синтеза (диазотирования, азосочетания, нитрования и др.), высокопроизводительные малогабаритные турбулентные трубчатые реакторы с диффузор-конфузорными устройствами, сушильные аппараты с закрученными потоками инертного носителя.

В качестве альтернативных классов систем автоматического управления рассматривались замкнутые и разомкнутые системы, предназначенные для стабилизации технологических режимов МХТС, адаптивной статической оптимизации, динамической оптимизации, программного и оптимального управлений нестационарными режимами МХТС. Синтез энергосберегающего управления нелинейными химическими процессами в МХТС осуществлялся методом аналитического конструирования оптимальных регуляторов по критерию обобщенной работы.

В ходе имитационных исследований определялся оптимальный вариант энергосберегающего комплекса «МХТС – САУ».

Технико-экономические показатели гибкого автоматизированного производства азокрасителей, спроектированного в соответствии с методологией интегрированного проектирования: диапазон производительности – от 100 до 5000 т/год по сухому красителю; выход азокрасителей – 98…99 %, что на 2…3 % выше действующих производств; уменьшение энергозатрат – примерно на 10…15 % по сравнению с действующими производствами; снижение металлоемкости производства – в среднем на 20 %; повышение коэффициента использования оборудования – на 30 %; сокращение сроков освоения новой продукции – в 2 – 3 раза; снижение потребности в обслуживающем персонале – на 30 % (за счет высокого уровня автоматизации производства).

Заключение

С использованием рекомендуемых в работе модифицированных (быстрых) алгоритмов решения двухэтапных задач стохастической оптимизации разработано программное обеспечение интегрированного проектирования энергосберегающих автоматизированных МХТС, имеющих решающее значение при создании новейших или перевооружения действующих энергоемких многоассортментных производств органических полупродуктов и красителей, лаков и красок, химикатов и добавок для полимерных материалов, кино- и фотоматериалов, топлив и смазочных материалов, минеральных удобрений и др.

Список литературы

1. D. Dvoretsky, S. Dvoretsky and V. Kalinin, New problem statements, algorithms and problems of integrated design of flexible chemical processes and automatic control systems, European Symposium on Computer Aided Process Engineering (ESCAPE'14): Proceedings (2004) 397-402.

2. D. Dvoretsky, S. Dvoretsky and V. Kalinin, Integrated design of flexible automated chemical process systems: strategy, methods, implementation,

7th World Congress of Chemical Engineering, Glasgow, Scotland: Congress Manuscripts on CD-ROM (2005).

3. Бодров, В.И. Оптимальное проектирование энерго- и ресурсосберегающих процессов и аппаратов химической технологии / В.И. Бодров, С.И. Дворецкий, Д.С. Дворецкий // ТОХТ. – 1997. – Т. 31. – №5. – С. 542–548.

4. Островский Г.М., Волин Ю.М., Сенявин М.М., Бережинский Т.А. // ТОХТ. – 1994. – Т. 28. – № 7. – С. 54–61.

5. Ostrovsky G.M., Volin Y.M., Senyavin M.M. An approach to solving a two stage optimization problem under uncertainty // Comput. Chem. Eng. – 1997. – Vol. 20. – No. 4. – Pp. 317–325.

6. Островский, Г.М. Оптимизация ХТП в условиях неопределенности при наличии жестких и мягких ограничений / Г.М. Островский, Ю.М. Волин // ДАН. – 2001. – Т. 376. – № 2. – С. 215-218.

Integrated Synthesis of Energy- and Resources- Saving Multi-Assortment Chemical-Technological Systems

G.M. Ostrovsky, D.S. Dvoretsky, S.I. Dvoretsky

Research Physical and Chemical Institute after L.Ya. Karpov, Moscow
Tambov State Technical University

Key words and phrases: flexible automated production of azo dyes and pigments; integrated synthesis; multi-criteria optimization; uncertain parameters; branches and boundaries procedure; stochastic optimization; flexibility function.

Abstract: New tasks of integrated designing of energy-saving multi-assortment chemical-technological systems in terms of uncertainty are formulated. Approaches to the development of modified (quick) algorithms of calculating flexibility function of energy-saving multi-assortment chemical-technological systems as well as solution to two-stage tasks of stochastic optimization for practically important cases are identified. Modified algorithms for solution to these tasks are proposed using the procedure of branches and boundaries. The example of integrated designing of energy-saving multi-assortment chemical-technological systems in azo dyes production is given.

ДЛЯ ЗАМЕТОК