УДК 66-933.6

ЗАДАЧА РЕКОНСТРУКЦИИ ГИБКИХ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Т.А. Фролова

ГОУ ВАО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Рецензент С.И. Дворецкий

Ключевые слова и фразы: аппаратурное оформление; гибкая химико-технологическая схема; капитальные затраты; реконструкция; функция принадлежности.

Аннотация: Предложена постановка задачи реконструкции гибкой химико-технологической схемы и алгоритм ее решения. Разработана методика определения оптимального варианта реконструкции гибкой химико-технологической схемы, когда ряд исходных данных характеризуется функциями принадлежности.

Рассматриваемые в данной работе производства полупродуктов и красителей характеризуются непостоянным, быстро обновляющимся ассортиментом и переменным объемом выпуска. Проектирование и создание новых гибких химико-технологических схем (ГХТС) при изменениях ассортимента или объемов выпуска связано со значительными затратами времени, трудовых и материальных ресурсов. Поэтому возникает проблема использования действующей ГХТС для производства продуктов при частичном изменении ассортимента и объемов выпуска. При решении этой проблемы возникают следующие задачи: выпуск новых продуктов без изменения аппаратурного оформления схемы; введение дополнительных параллельных аппаратов на стадиях сверх установленного резерва; введение дополнительных аппаратурных стадий; замена аппаратов ряда стадий на аппараты большего объема или производительности.

Установка новых аппаратов или замена аппаратов ГХТС на аппараты большего объема или производительности характеризуются матрицей $\left\|\delta_{jn}\right\|$, $j \in J \cup J_H$, $n = 1, 2, ..., n^+$, где J_H – множество установленных новых аппаратов ГХТС; n^+ – максимально возможное количество параллельных аппаратов на стадиях

Фролова Т.А. – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования» ТамбГТУ.

$$n^{+} = \max n_j^{+}. \qquad (1)$$

Пусть матрица $\left\|\delta_{jn}\right\|$ называется матрицей реконструкции. Величина n_j^{+} соответствует максимальному числу параллельных аппаратов на j-ой стадии. Элементы матрицы $\left\|\delta_{jn}\right\|$ принимают значения $\delta_{jn} = 1$, если j-ый аппарат на стадии n-ый по счету среди параллельных аппаратов подвергся реконструкции; $\delta_{jn} = 0$ в противном случае. Если $j \in J$, $n \le n_j$, $\delta_{jn} = 1$, то имеющийся j-ый аппарат заменяется на аппарат большего объема или производительности. Если $j \in J_H$, $\delta_{jn} = 1$, то добавляются новые параллельные аппараты на стадии.

При проведении реконструкции необходимо подобрать такую матрицу $\left\|\delta_{jn}\right\|$, объемы V_j и рабочие площади поверхностей аппаратов F_j, а также матрицы технологических маршрутов $\left\|Z_{js}^{i}\right\|$, $(i \in I \cup I_H)$, при которых капитальные затраты на реконструкцию были бы наименьшими. Очевидно, что при реконструкции ГХТС следует изменять матрицы технологических маршрутов $\left\|Z_{js}^{i}\right\|$, $i \in I$, т.е. максимально использовать новые установленные аппараты.

Постановка задачи реконструкции в детерминированных условиях формулируется следующим образом.

Необходимо найти такую матрицу реконструкции $\left\|\delta_{jn}\right\|$, матрицы технологических маршрутов $\left\|Z_{js}^{i}\right\|$, объемы V_j и площади рабочих поверхностей аппаратов F_j, при которых достигают минимума капитальные затраты на реконструкцию, т.е.

$$\left(\left\|\delta_{jn}\right\|^{*}, \left\|Z_{js}^{i}\right\|^{*}, V_j^{*}, F_j^{*}\right) = \underset{\left\|\delta_{jn}\right\|, \left\|Z_{js}^{i}\right\|, V_j, F_j}{\arg\min} K\left(\overline{V}, \overline{F}, \overline{n}\right) \qquad (2)$$

при выполнении уравнений связи в виде математической модели для реконструкции ГХТС [1] и ограничений на изменение значений числа параллельных аппаратов, объемов и площадей рабочих поверхностей:

$$1 \le n_j \le n_j^{+},$$

$$V_j^{-} \le V_j \le V_j^{+},$$

$$F_j^{-} \le F_j \le F_j^{+}.$$

Должны выполняться требования целочисленности значений n_j, а также соответствия значений V_j и F_j стандартным размерам аппаратов:

$$\prod_{j \in J_b} \left(V_j - V_j^{c}\right) = 0,$$

$$\prod_{j \in J_s} \left(F_j - F_j^c \right) = 0.$$

Для задачи реконструкции разработан алгоритм ее решения (рис. 1). Согласно алгоритму сначала формируется матрица реконструкции $\|b_{ir}\|$ размером $I \times R$ (блок 1), где I – количество продуктов; R – число вариантов реконструкции. Пример матрицы $\|b_{ir}\|$ для трех продуктов (I = 3) приведен в табл. 1.

В этой матрице столбец соответствует варианту реконструкции ГХТС, где единица в i-ой строке означает, что на лимитирующей стадии по времени цикла устанавливается дополнительный параллельный аппарат. Например, столбцу 2 соответствует вариант, когда устанавливается параллельный аппарат только на лимитирующей стадии по продукту 1. Ноль означает, что дополнительный параллельный аппарат не ставится. Столбцу 8 соответствует вариант, когда устанавливаются параллельные аппараты на лимитирующих стадиях для трех продуктов. В блоке 2 алгоритма формируются матрицы $\|Z_{js}^i\|$ $(i = \overline{1, I})$ технологических маршрутов. Построение этих матриц может приводиться автоматизировано с участием оператора. В блоке 3 определяются объемы аппаратов новых стадий, которые необходимы для выпуска продуктов, $i \in I_H$. На каждой новой стадии устанавливается по одному аппарату, размеры которых определяются согласно формуле

$$V_j > \frac{W_i g_{ij}}{\varphi_j^+}, i \in I_H, j \in J_H, \tag{3}$$

где объемы V_j принимают значения из ряда стандартных размеров; J_H – множество новых стадий.

Размеры партий W_i определяются по формуле

$$W_i = \min_i \frac{\varphi_j^+ V_j}{g_{ij}}, \ \ j \notin J_H, \ \ i \in I \cup I_H.$$

Таким образом, выбор размеров аппаратов для новых стадий $j \in J_H$ осуществляется из условия, когда эти стадии не являются лимитирующими по размеру партии.

Таблица 1

Матрица вариантов реконструкции ГХТС

i \ r	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1	0	0	1	1	0	1
2	0	0	1	0	1	0	1	1
3	0	0	0	1	0	1	1	1

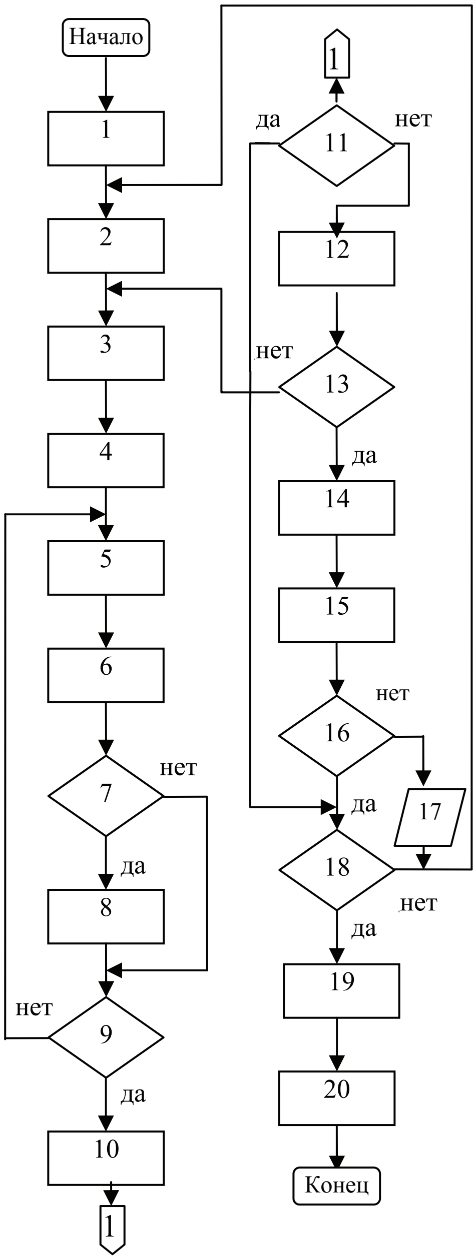

Рис. 1. Алгоритм решения задачи реконструкции:
1 – формирование матрицы вариантов реконструкции $\|b_{ir}\|$; 2 – формирование матрицы технологических маршрутов $\|Z_{js}^{i}\|$; 3 – определение объемов аппаратов новых стадий для продуктов $i \in I_H$; 4 – определение аппаратов, соответствующих лимитирующим стадиям L_i по времени цикла; 5 – перебор вариантов реконструкции, $r = \overline{1, R}$; 6 – вычисление резерва производительности Δt_0; 7 – $\Delta t_0 \geq \Delta t_0^{з}$; 8 – вычисление критерия оптимальности K; 9 – перебор вариантов окончен; 10 – определение оптимального варианта $r^*(K \to \min)$; 11 – найден вариант, при котором $\Delta t_0 > \Delta t_0^{з}$; 12 – добавление на лимитирующей стадии по одному параллельному аппарату $n_{Li} > n_{Li} + 1, i = \overline{1, I}$; 13 – $n_{Li} > n_{Li}^{+}, \forall i \in I$; 14 – определение аппаратов, соответствующих лимитирующим стадиям ω_i по размерам партии; 15 – выбор оптимальных объемов $V_{\omega_i}^{*}(K \to \min)$; 16 – нахождение объемов V_{ω_i}, при которых $\Delta t_0^{i} > \Delta t_0^{з}$; 17 – для заданных маршрутов $\|Z_{js}^{i}\|$ реконструкция невозможна; 18 – все возможные технологические маршруты рассмотрены; 19 – выбор оптимального варианта реконструкции $K \to \min, n_j^*, V_j^*, \|Z_{js}^{i}\|^*$; 20 – округление размеров аппаратов до стандартных

В блоке 4 по математической модели определяются лимитирующие стадии L_i по времени цикла для каждого продукта. В блоках 5–10 осуществляется перебор вариантов реконструкции и выбор оптимального варианта, которому соответствует минимум капитальных затрат на реконструкцию. Если удается найти вариант реконструкции, для которого резерв производительности ГХТС превышает заданный (блок 11), то рассматриваются новые возможные технологические маршруты обработки продуктов (блоки 16, 2). Если такой вариант не найден, тогда на каждой лимитирующей стадии L_i $(i=\overline{1,I})$ добавляется по одному параллельному аппарату, и перебор вариантов матрицы $\|b_{ir}\|$ начинается заново (блоки 5–10). Если вариант, при котором $\Delta t_0 > \Delta t_0^з$ так и не найден и количество параллельных аппаратов не может увеличиваться (блок 13), то в блоке 14 определяются аппараты, соответствующие лимитирующим стадиям ω_i по размерам партий для каждого i-го продукта. Далее решается задача выбора оптимальных объемов (блок 15). Постановка этой задачи записывается следующим образом.

Необходимо найти такие объемы аппаратов V_{ω_i} на лимитирующих стадиях ω_i, при которых критерий капитальных затрат [1] принимает минимальное значение

$$V_{\omega_i}^* = \arg\min_{V_{\omega_i}} K(V_{\omega_i}), \quad i \in I \cup I_H \tag{4}$$

при выполнении уравнений связи в виде математической модели и ограничений на резерв производительности

$$\Delta t_0 \ge \Delta t_0^з,$$

и допустимые объемы

$$V_{\omega_i}^- \le V_{\omega_i} \le V_{\omega_i}^+ .$$

Задача выбора оптимальных объемов V_{ω_i} может решаться методом условной оптимизации (например, методом штрафных функций). Если не найдено допустимого решения, т.е. не выполняется условие

$$\Delta t_0 \ge \Delta t_0^з \ \forall\, V_{\omega_i},$$

то выводится сообщение о невозможности реконструкции для заданных технологических маршрутов обработки $\left\|Z_{jS}^i\right\|$ (блоки 16, 17). Далее проверяется условие рассмотрения всех возможных вариантов технологических маршрутов (блок 18). Если рассмотрены не все технологические маршруты, то в блоке 2 формируются новые матрицы технологических маршрутов, и процесс поиска вариантов реконструкции начинается заново. При рассмотрении всех возможных маршрутов обработки продуктов окончательно устанавливается оптимальный вариант реконструкции (блок 19). Далее в блоке 20 найденные оптимальные размеры аппаратов V_j, F_j округляются до ближайших стандартных размеров.

В условиях неопределенности при нечетком задании объемов выпусков продуктов и годового эффективного фонда рабочего времени, критерий оптимальности – капитальные затраты на реконструкцию – должен записываться в виде функции принадлежности

$$\mu\left(K\left(\overline{Y}\right)\right)=\max_{K(\overline{Y})=D(\overline{X})}\left[\min\left(\mu\left(Q_1\right),...,\mu\left(Q_I\right),\,\mu\left(t_0\right)\right)\right], \tag{5}$$

где $\overline{X},\overline{Y}$ – вектора, определяемые соответственно [2]:

$$\overline{X}=\left(I,J,V_j,n_j,e_{ij},\tau_{ij},p_{i(j-1)},a_{ij},g_{ij},\varphi_j\right);$$

$$\overline{Y}=\left(\left\|\delta_{jn}\right\|,\left\|Z^i_{js}\right\|,\overline{V},\overline{F},\overline{n}\right).$$

Зависимость $K\left(\overline{Y}\right)=D\left(\overline{X}\right)$ определяется при решении задачи реконструкции, где D – оператор, реализующий решение задачи оптимизации. Каждому значению критерия оптимальности соответствует вариант реконструкции ГХТС, определяемый значениями

$$\left\|\delta_{jn}\right\|,\left\|Z^i_{js}\right\|,\overline{V},\overline{F},\overline{n},\quad j\in J_R\,.$$

Для решения поставленной задачи используется декартово произведение G нечетких множеств [1]. Далее в пространстве переменных Q_1, Q_2,...,Q_I, t_0 строятся линии равного значения критерия оптимальности, каждой точке линии уровня соответствует элемент матрицы G. Среди точек выбранной линии уровня определяется точка, соответствующая максимальному значению функции принадлежности. Таким образом строится функция принадлежности $\mu\left(K\right)$. Из полученного множества решений выбирается вариант реконструкции ГХТС, при котором капитальные затраты на реконструкцию минимальны и степень достоверности решения не ниже заданной, т.е.

$$K\left(\overline{Y}\right)=\arg\min_{K\left(\overline{Y}\right)}\mu\left(K\left(\overline{Y}\right)\right); \tag{6}$$

$$\mu\left(K\left(\overline{Y}\right)\right)\ge M\,, \tag{7}$$

где M – степень достоверности.

В результате решения поставленной задачи определяются: параметры стадии ГХТС (характеризуются матрицей $\left\|\delta_{jn}\right\|$; объемы V_j и рабочие площади поверхности F_j этих аппаратов, а также находятся новые технологические маршруты синтеза продуктов $\left\|Z^i_{js}\right\|$.

Методика выбора варианта реконструкции ГХТС показана на рис. 2. Каждая точка на графике соответствует определенному варианту реконструкции и характеризуется значением функции принадлежности. Выбранная точка на графике должна удовлетворять соотношениям (5), (6). На рисунке этой точкой является точка А. Она лежит выше линии характеризующей степень достоверности. Этой точке соответствуют минимальные капитальные затраты.

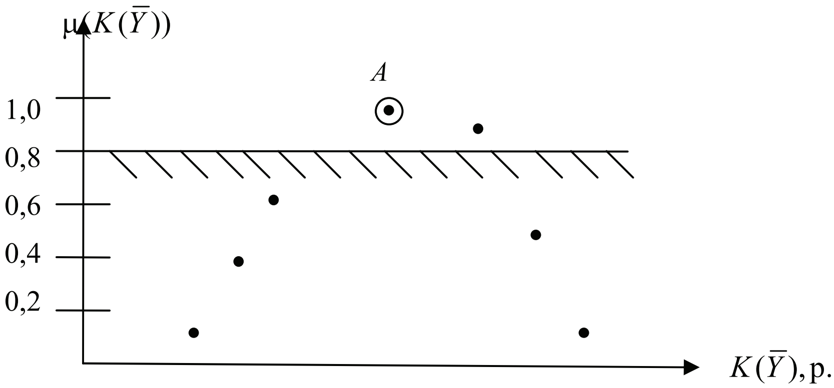

Рис. 2. Пример выбора варианта реконструкции

Разработанные алгоритмы решения данной задачи реализуются как отдельный программный модуль единой системы, предназначенной для проектирования и эксплуатации технологических схем многоассортиментных химических производств.

Список литературы

1. Малыгин, Е.Н. Оценка резерва производительности ГХТС многоассортиментных производств с использованием аппарата нечетких множеств / Е.Н. Малыгин, С.В. Карпушкин, Т.А. Фролова // Химическая промышленность. – 1991. – № 5. – С. 308–311.

2 Малыгин, Е.Н. Решение задачи оптимального календарного планирования гибких химико-технологических схем / Е.Н. Малыгин, Т.А. Фролова, М.Н. Краснянский // Химическая промышленность. – 1995. – № 3. – С. 185–187.

Task of Reconstruction of Flexible Chemical and Technological Schemes in Conditions of Uncertainty

T.A. Frolova

Tambov State Technical University, Tambov

Key words and phrases: implementation of a process; flexible chemical and technological scheme; capital outlays; reconstruction; accessory function.

Abstract: Statement of the task of flexible chemical and technological scheme reconstruction and algorithm of its solution is proposed. The method of determining optimal variant of flexible chemical and technological scheme is developed, when a number of initial data is characterized by accessory functions.

Для заметок