

$\Delta_n = \alpha_n \Delta$ , то уравнение (7) может быть представлено в виде

$$\alpha_0 \Delta_0 + \alpha_{np} \Delta_{np} + \alpha_n \Delta_n = \alpha_{cp}, \quad (8)$$

где  $\alpha$  – удельные веса потребления электроэнергии в соответствующих временных зонах.

Очевидно, величины ставок и соотношения между ними зависят от значений исходных стоимостных характеристик (цена топлива, удельная стоимость электростанций), удельных приростов топлива в различных временных зонах и от принятой продолжительности этих зон.

УДК 519.6

Маг. Е.П. Гончаров

Науч. рук. проф. В.С. Кудряшов

(кафедра информационных управляющих систем, ВГУИТ, Воронеж, РФ)

### **ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РЕКТИФИКАЦИИ ЭТИЛБЕНЗОЛА ПО МОДЕЛИ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ РЕКТИФИКАЦИИ**

Задачей процесса ректификации является выделение этилбензола из реакционной смеси после установки дегидрирования. На его чистоту влияют возмущающие воздействия: расход, температура и состав исходной смеси, давление в колонне ректификации и параметры тепло- и хладоносителей.

Для формализации цели управления процессом с использованием математической модели предлагается критерий:

$$K = A_1 X_{0,b} + A_2 X_{N+1,em} \rightarrow \min_{R, T_0},$$

где  $X_{0,b}$ ,  $X_{N+1,em}$  – концентрации бензола в кубе и этилбензола в дистилляте;  $A_1$ ,  $A_2$  – весовые коэффициенты;  $R$ ,  $T_0$  – расход флегмы и температура в кубе колонны (управляющие параметры).

Оптимизация процесса заключается в минимизации критерия. К по математической модели. В качестве управляющих параметров предлагается использовать расход флегмы и температуру в кубе колонны через расход теплоносителя.

Математическое описание статики процесса ректификации основано на уравнениях материальных балансов [1] колонны в целом:

$$F = D + W,$$

$$V_N = R + D,$$

расхода пара и жидкости в отдельных секциях колонны:

$$V_i = R + D, \quad 0 \leq i \leq N,$$

$$L_i = R, \quad NF < i \leq N + 1,$$

$$L_i = R + F, \quad 1 \leq i \leq NF,$$

$$L_0 = W = F - D, \quad i = 0,$$

и каждой контактной ступени по каждому компоненту разделяемой смеси, включая куб и дефлегматор. В таблице 1 материальные балансы контактной ступени, где  $V_i, L_i$  – расход пара и жидкости, уходящие с  $i$ -ой тарелки колонны;  $F, R, D, W$  – расходы сырья, флегмы, дистиллята и кубового продукта;  $X_{ij}, Y_{ij}$  – концентрации  $j$ -го компонента в жидкой и газовой фазах, отходящие с  $i$ -ой тарелки;  $N, NF$  – число тарелок в колонне и номер тарелки подачи сырья.

**Таблица 1. Уравнения материальных балансов каждой контактной ступени по каждому компоненту разделяемой смеси**

$L_1 X_{1,j} - V_0 Y_{0,j} - W X_{0,j} = 0$	0
$L_{i+1} X_{i+1,j} + V_{i-1} Y_{i-1,j} - L_i X_{i,j} - V_i Y_{i,j} = 0$	1
$L_{i+1} X_{i+1,j} + V_{i-1} Y_{i-1,j} - L_i X_{i,j} - V_i Y_{i,j} = 0$	2
...	...
$L_{i+1} X_{i+1,j} + V_{i-1} Y_{i-1,j} - L_i X_{i,j} - V_i Y_{i,j} = 0$	$i$
...	...
$L_{NF+1} X_{NF+1,j} + V_{NF-1} Y_{NF-1,j} - L_{NF} X_{NF,j} - V_{NF} Y_{NF,j} = -F$	$NF$
...	...
$L_{N+1} X_{N+1,j} + V_{N-1} Y_{N-1,j} - L_N X_{N,j} - V_N Y_{N,j} = 0$	$N$
$V_N Y_{N,j} - L_{N+1} X_{N+1,j} - D X_{N+1,j} = 0$	$N + 1$

Фазовое равновесие систем жидкость-газ определяется уравнением Генри:

$$K_{i,j} = a_{i,j} / \sum_{j=1}^k a_{i,j} X_{i,j}, \quad i = \overline{0, N}, \quad j = \overline{1, k}$$

где  $a_{ij}$  – коэффициент относительной летучести  $j$ -го компонента;  $k$  – число компонентов разделяемой смеси.

В результате моделирования рассчитывается профиль концентраций компонентов по высоте колонны.

Задача оптимизации заключается в нахождении таких значений управляющих параметров, которые обеспечивают минимум выбранного критерия. Поиск минимума критерия осуществляется по математической модели с использованием численного метода оптимизации – градиентного.

На первом этапе находим значения производных критерия по каждому из управляющих параметров:

$$\frac{\partial K}{\partial u} = (K(u + \xi u) - K(u)) / \xi u$$

где  $u$  – вектор управления;  $\zeta=0,001$ .

На втором этапе осуществляется шаг по каждому управляющему параметру в сторону убывания критерия:

$$u^{k+1} = u^k - H^k \frac{\partial K^k}{\partial u} / \nabla^k$$

где  $\nabla^k$  – норма градиента;  $H^k$  – переменный коэффициент шага;  $k$  – номер итерации.

Норма градиента и коэффициент шага рассчитываются по формулам:

$$\nabla^k = \sqrt{\sum_{l=1}^2 \left( \frac{\partial K^l}{\partial u} \right)^2}$$

$$H^k = \begin{cases} K_1 H^{k-1}, & \frac{\partial K^k}{\partial u} \frac{\partial K^{k-1}}{\partial u} > 0 \\ K_2 H^{k-1}, & \frac{\partial K^k}{\partial u} \frac{\partial K^{k-1}}{\partial u} < 0 \end{cases}$$

где  $1 < K_1 < 2$ ;  $0 < K_2 < 1$ .

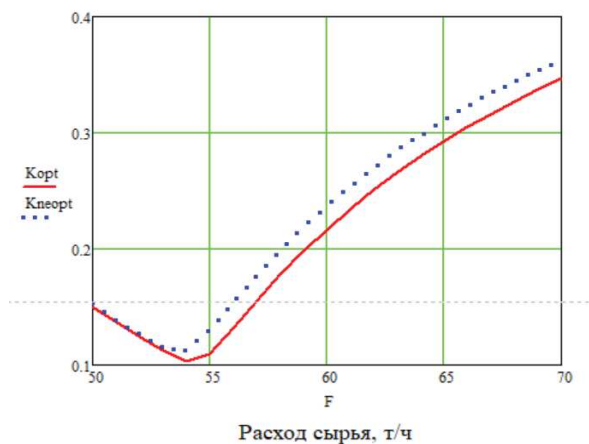
На каждой итерации проводится проверка управления на установленные границы:  $u_{\min} \leq u \leq u_{\max}$ . Если условие не выполняется, управляющим параметрам присваиваются граничные значения из заданного диапазона.

Расчёт оптимальных значений заканчивается, когда выполнится условие:

$$\nabla^k < \varepsilon,$$

где  $\varepsilon = 0,001$ .

Для сравнения значения критерия по результатам оптимизации приводятся графики при оптимальных и неоптимальных значениях управляющих параметров в диапазоне изменения нагрузки на колонну.



**Рисунок 1 – Сравнение значений критерия при оптимальных и неоптимальных управляющих параметрах**

Как видно из графика на рис. 1, при расчёте модели с оптимальными значениями управляющих параметров значения критерия ниже, чем при расчёте с неоптимизированными параметрами, а, следовательно, минимизируются потери целевых компонентов разделения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кудряшов В.С., Алексеев М.В. Моделирование систем: учеб. пос. для студ. техвузов. Воронеж: ВГУИТ, 2012. 208 с.

УДК 681.5

Студ. В.Л.Алексеев, Е.Е. Лаврусик  
Науч. рук. доц. И.Ф. Кузмицкий, доц. Д.А. Гринюк  
(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ ПОДЧИНЁННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ И САМООРГАНИЗАЦИИ**

Разработка способа совершенствования систем управления электроприводами на основе принципов подчиненного регулирования и самоорганизации имеет важное практическое значение. Метод подчиненного регулирования синтеза многоконтурных систем автоматического управления электроприводами имеет большое значение для теории и практики электроприводов постоянного и переменного тока. Разработанный еще в 50-х гг. XX в. сотрудником фирмы «Siemens» С. Kessler [1], этот метод в том или ином виде до сих пор применяется в большинстве реальных систем управления электроприводами. Подтверждено реальным опытом, что наиболее эффективным и перспективным направлением развития электропривода является использование регулируемого электропривода и развитие систем автоматизации. Новый этап развития науки об управлении сложными объектами, к которым относятся электроприводы, будет проходить успешно при одновременном развитии алгоритмического и программного обеспечения, элементной базы, аппаратных средств, измерительных комплексов.

Основные затраты при разработке систем управления современными электроприводами приходится не на создание аппаратной части контроллера, а на разработку алгоритмического и программного обеспечения. В последние годы появились новые фундаментальные направления в теории и технике управления. К таким направлениям