

А.В. Матрохина, А.Б. Борисенко

### СИСТЕМА РАСЧЕТА И ВЫБОРА ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ МНОГОАССОРТИМЕНТНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ<sup>1</sup>

Задача определения аппаратурного оформления (АО) ХТС МХП предусматривает выбор определяющих геометрических размеров, числа аппаратов стадий системы и характеристик режима ее функционирования, обеспечивающих выпуск продуктов заданного ассортимента в требуемых объемах за некоторый период. Практически все математические формулировки этой задачи ориентированы только на основное оборудование стадий ХТС (реакторы, фильтры, сушилки) и не включают соотношения для выбора вспомогательного. Между тем, число вспомогательных аппаратов стадий ХТС МХП существенно превышает число основных.

К числу наиболее распространенных типов вспомогательного оборудования аппаратурных стадий ХТС МХП относятся мерники жидкого сырья, сборники промежуточных продуктов и отходов, насосы и теплообменники как выносные, так и встроенные в основные аппараты (рубашки, змеевики).

**Постановка задачи.** Необходимо найти для каждой стадии ХТС определяющие геометрические размеры (производительности)  $Xv_{jf}$ ,  $j = \overline{1, J}$ ,  $f = \overline{1, Fv}$  и число  $Nv_{jf}$ ,  $j = \overline{1, J}$ ,  $f = \overline{1, Fv}$  вспомогательных аппаратов одинакового назначения, при которых капитальные затраты на вспомогательное технологическое оборудование стадии достигают минимума

$$Zk_j = Ek \frac{Tp}{Ty} \sum_{f=1}^{Fv_j} Nv_{jf} sv(tav_{jf}, Xv_{jf}) \rightarrow \min_{Xv_{jf}, Nv_{jf}, f=1, Fv_j}$$

и выполняются следующие ограничения:

- на рабочий объем мерника жидкого сырья, сборника промежуточного продукта

$$u_{ij} \frac{vv_{ijl} w_i}{\Phi v_{ijf}^*} \leq Xv_{jf} \leq u_{ij} \frac{vv_{ijl} w_i}{\Phi v_{ijf}^*}, \quad i = \overline{1, I}, \quad f \in (1, \dots, Fv_j),$$

$$tav_{jf} \in (1, 2), \quad l \in Lv_{ijf};$$

- на производительность насоса

$$Xv_{jf} \geq u_{ij} \frac{vv_{ijl} w_i}{dov_{ijl}}, \quad i = \overline{1, I}, \quad f \in (1, \dots, Fv_j) | tav_{jf} = 3, \quad l \in Lv_{ijf};$$

- на рабочую поверхность теплообменника

$$Xv_{jf} \geq u_{ij} \frac{env_{ijl}^{ke} mv_{ijl} w_i}{dov_{ijl} Kt_{ijl} \Delta t_{ijl}}, \quad i = \overline{1, I},$$

$$f \in (1, \dots, Fv_j) | tav_{jf} \in (4, 5), \quad ke \in (2, 3), \quad l \in Lv_{ijf};$$

- на принадлежность значений  $Xv_{jf}$ ,  $f = \overline{1, Fv_j}$  множествам размеров стандартных аппаратов

$$Xv_{jf} \in XvS_{jf}, \quad f = \overline{1, Fv_j};$$

- на число вспомогательных аппаратов  $f$ -й группы стадии  $j$  ХТС

$$Nv_{jf} = \max_{i=1, I} \{nv_{ijf}\}, \quad f = \overline{1, Fv_j};$$

$$nv_{ijf} = \begin{cases} \text{INT} \left( K_{ij} \sum_{l \in Lv_{ijf}} dov_{ijl} / t_{ij} \right) + 1, & tav_{jf} \neq 4; \\ n_{ij}, & tav_{jf} = 4; \end{cases}$$

$$i = \overline{1, I}, \quad f \in (1, \dots, Fv_j).$$

Обозначения в целевой функции и ограничениях:

$Ek$  – нормативный коэффициент окупаемости для оборудования (0.15);

<sup>1</sup> Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. С.В. Карпушкина.

$T_y$  – годовой эффективный фонд рабочего времени ХТС (ч) с учетом сменности ее работы и продолжительностей переходов с выпуска одних продуктов на другие согласно календарному плану;

$T_p$  – затраты на приобретение оборудования за период выпуска продукции ХТС в заданных объемах и ассортименте;

$w_i, u_i, i = \overline{1, I}$  – размеры партий продуктов ХТС и коэффициенты их изменения по стадиям;

$\varphi_{i,j}, i = \overline{1, I}, j \in J_i$  – коэффициенты заполнения мерников и сборников;

$mv_{ijf}, vv_{ijf}$  – массовые и объемные материальные индексы операций, в реализации которых участвуют вспомогательные аппараты;

$dov_{ijf}$  – длительности операций, в выполнении которых задействованы вспомогательные аппараты;

$Kt_{ijf}, \Delta t_{ijf}$  – коэффициент теплопередачи и средняя разность температур теплоносителей при реализации соответствующих операций;

$env_{ijf}^{ke}$  – удельные расходы энергии при реализации тепловых процессов;

$t_{ij}, i = \overline{1, I}, j \in J_i$  – продолжительности циклов переработки партий продуктов на стадиях ХТС;

$K_{ij}, i = \overline{1, I}, j \in J_i$  – число циклов работы основных аппаратов стадий ХТС за один цикл выпуска соответствующего продукта;

$n_{ij}$  – число основных аппаратов стадии  $j$ , участвующих в выпуске  $i$ -го продукта;

$sv(tav_{jf}, Xv_{jf})$  – зависимость стоимости аппарата от его типа и основного размера:

для вертикальных емкостей из нержавеющей стали (мерников и сборников) –

$$sv(tav_{jf}, Xv_{jf}) = 22,648 Xv_{jf}^{0,752} \quad (Xv_{jf} \text{ в } \text{м}^3);$$

для насосов химических центробежных типа ХЦМ (герметичных, взрывозащищенных) –  
 $sv(tav_{jf}, Xv_{jf}) = 68,516 Xv_{jf}^{0,095} \quad (Xv_{jf} \text{ – подача в } \text{м}^3/\text{ч});$

для кожухотрубчатых теплообменников –  $sv(tav_{jf}, Xv_{jf}) = 3344 Xv_{jf}^{0,579} \quad (Xv_{jf} \text{ в } \text{м}^2)$  (если встроенные теплообменники являются составными частями стандартного аппарата, то  $sv(tav_{jf}, Xv_{jf}) = 0$ ).

К числу исходных данных задачи, кроме данных регламентов выпуска продуктов ( $mv_{ijf}, vv_{ijf}, Kt_{ijf}, \Delta t_{ijf}, \varphi_{i,j}, dov_{ijf}, env_{ijf}^{ke}$ ) и результатов расчета основной аппаратуры ХТС ( $w_i, u_i, n_{ij}, t_{ij}, K_{ij}$ ), относятся сведения о типах вспомогательных аппаратов, включаемых в состав оборудования всех аппаратурных стадий ХТС  $tav_{jf}, j = \overline{1, J}, f = \overline{1, Fv}$  ( $tav_{jf} = 1$  – мерник,  $tav_{jf} = 2$  – сборник,  $tav_{jf} = 3$  – насос,  $tav_{jf} = 4$  – встроенный теплообменник,  $tav_{jf} = 5$  – выносной теплообменник), а также множества определяющих геометрических размеров вспомогательных аппаратов, пригодных для оснащения стадий ХТС  $XvS_{jf}, j = \overline{1, J}, f = \overline{1, Fv}$ . Типы вспомогательных аппаратов конкретной стадии ХТС определяются характером операций, реализуемых в основных аппаратах при выпуске различных продуктов, способом подачи сырья, отвода целевых продуктов и отходов.

Сформулированная задача является задачей дискретной оптимизации. Алгоритм ее решения предусматривает выбор минимально допустимых значений  $Xv_{jf}$  для каждой группы вспомогательных аппаратов каждой стадии ХТС, которые обеспечивают выполнение соответствующих ограничений и расчет их необходимого количества.

Алгоритм расчета вспомогательного оборудования реализован с помощью информационной системы. В качестве примера можно привести технологическую схему № 5 производства красителей ОАО «Химпром», г. Чебоксары, предназначенную для выпуска в течение календарного года следующих продуктов:

- 1) активного ярко-красного 1;
- 2) активного ярко-красного 2;
- 3) активного ярко-красного 3;
- 4) активного ярко-красного 2СХ;
- 5) активного ярко-красного 5СХ;
- 6) активного алого.

Схема состоит из 77 аппаратурных стадий, основными аппаратами которых являются: емкостные реакторы – 17, фильтры (друк-фильтр, фильтр-пресс, ФПАКМ, ФРУ-3) – 7, сушилка (с «кипящим слоем») – 1.

Вспомогательное оборудование стадий этой схемы включает 18 мерников, два теплообменника, один сборник, 11 насосов. В результате решения сформулированной задачи в четырех случаях удалось уменьшить определяющий размер аппарата (три мерника и один сборник) по сравнению с проектной документацией по схеме.

По результатам решения подобных задач для этого и других производств можно сделать вывод, что оптимизация выбора вспомогательной аппаратуры позволяет уменьшить общую стоимость оборудования ХТС МХП на 5...7%. **Кафедра «Автоматизированное проектирование технологического оборудования»**