УДК 66.01.011

ВЫБОР ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ МНОГОАССОРТИМЕНТНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Е.Н. Малыгин[1], С.В. Карпушкин[1], П.Г. Михайлова[2]

Кафедра «Автоматизированное проектирование технологического оборудования», ГОУ ВПО «ТГТУ» (1); кафедра «Компьютерно-интегрированные системы в химической технологии», ГОУ ВПО «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева» (2), г. Москва; karp@mail.gaps.tstu.ru

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: выбор вспомогательной аппаратуры; многоассортиментные химические производства; определение аппаратурного оформления; химико-технологические системы.

Аннотация: Рассматривается методика выбора вспомогательного технологического оборудования стадий химико-технологических систем многоассортиментных химических производств. Перечислены необходимые исходные данные, в том числе результаты выбора основного технологического оборудования. Предложена математическая постановка задачи выбора вспомогательной аппаратуры и метод ее решения.

Многоассортиментные химические производства (**МХП**) характеризуются широким ассортиментом выпускаемой продукции, небольшими (менее 1000 т/год) объемами выпуска продуктов и частыми изменениями их ассортимента. Примерами МХП могут служить производства синтетических красителей и полупродуктов, фармацевтических препаратов, химических реактивов. Химико-технологические системы (**ХТС**) МХП, как правило, ориентированы на выпуск нескольких марок продукции, сходных по способу синтеза, причем в каждый момент времени осуществляется выработка единственного продукта. Они работают в периодическом режиме, то есть продукты выпускаются отдельными партиями, которые последовательно проходят все этапы переработки, предусмотренные технологическими регламентами. Стадии ХТС представляют собой совокупности основных и вспомогательных аппаратов, предназначенных для реализации этапов переработки партий продуктов.

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 I в требуемых объемах $Q_i, i=\overline{1,I}$, за период Tp [1, 2]. Практически все математические формулировки этой задачи, представленные в отечественных и зарубежных публикациях, 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.

Наиболее распространенными вспомогательными аппаратами стадий ХТС МХП являются мерники жидкого сырья, сборники промежуточных продуктов и отходов, насосы и теплообменники как выносные, так и встроенные в основные аппараты (рубашки, змеевики). Выбор вспомогательной аппаратуры, обычно, осуществляется по окончании выбора основной с использованием его результатов:

– размеры партий продуктов ХТС w_i, $i=\overline{1,I}$, и коэффициенты их изменения по стадиям ХТС u_{ij}, $i=\overline{1,I}$, $j=\overline{1,J}$, где J – число аппаратурных стадий ХТС;

– продолжительность периодов переработки партий продуктов на стадиях ХТС t_{ij}, $i=\overline{1,I}$, $j=\overline{1,J}$;

– число циклов работы основных аппаратов стадий ХТС за один цикл работы системы K_{ij}, $i=\overline{1,I}$, $j=\overline{1,J}$, и длительность операций этих циклов, при выполнении которых задействованы вспомогательные аппараты dov_{ijlf}, $i=\overline{1,I}$, $j=\overline{1,J}$, $l\in L_{ijf}$, $f=\overline{1,Fv_j}$, где l – номер операции; f – номер группы вспомогательных аппаратов одинакового назначения на j-й стадии.

Кроме того, необходимы:

– сведения о типах вспомогательных аппаратов стадий ХТС tav_{jf}, $j=\overline{1,J}$, $f=\overline{1,Fv_j}$ (tav_{jf} = 1 – мерник, tav_{jf} = 2 – сборник, tav_{jf} = 3 – насос, tav_{jf} = 4, 5 – встроенный и выносной теплообменники);

– данные регламентов процессов выпуска продуктов о материальных индексах вспомогательных аппаратов gv_{ijlf}, $i=\overline{1,I}$, $j=\overline{1,J}$, $l\in Lv_{ijf}$, $f=\overline{1,Fv_j}$ (объеме vv_{ijlf} или массе mv_{ijlf} веществ, которые необходимо переработать для получения 1 т готового продукта);

– значения удельных расходов энергии при реализации операций, связанных с изменением температуры перерабатываемой массы en_{ijlf}, $i=\overline{1,I}$, $j=\overline{1,J}$, $l\in Lv_{ijf}$, $f=\overline{1,Fv_j}$;

– максимально и минимально допустимые значения степени заполнения мерников и сборников φv^*_{ijf}, φv_{ijf*}, $i=\overline{1,I}$, $j=\overline{1,J}$, $f=\overline{1,Fv_j}$, $tav_{jf}=1,\ 2$;

– множества определяющих геометрических размеров (производительностей) вспомогательных аппаратов, пригодных для оснащения стадий ХТС XvS_{jf}, $j=\overline{1,J}$, $f=\overline{1,Fv_j}$.

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. Вид ограничений на изменение значений Xv_{jf} определяющих геометрических размеров (производительностей) вспомогательных аппаратов f-й группы стадии j ХТС МХП зависит от типа аппарата. Для рабочего объема мерника жидкого сырья, сборника промежуточного продукта или жидких отходов, участвующих в реализации l-й операции цикла работы основных аппаратов стадии j ХТС при выпуске i-го продукта

$$u_{ij}\frac{vv_{ijlf}w_i}{\varphi v^*_{ijf}}\le Xv_{jf}\le u_{ij}\frac{vv_{ijlf}w_i}{\varphi v_{ijf*}},\ i=\overline{1,I},\ l\in Lv_{ijf},\ f\in(1,...,Fv_j)\mid tav_{jf}\in(1,2)\,. \quad (1)$$

Для насоса в качестве параметра Xv_{jf} используется подача. Поскольку продолжительность работы насоса не должна превышать длительности соответствующей операции загрузки/выгрузки основных аппаратов стадии j ХТС,

$$Xv_{jf} \geq u_{ij} \frac{vv_{ijfl} w_i}{dov_{ijfl}},\ i = \overline{1, I},\ l \in Lv_{ijf},\ f \in (1,..., Fv_j) \mid tav_{jf} = 3. \qquad (2)$$

Определяющим размером теплообменников стадии j ХТС является поверхность теплообмена. Продолжительность теплообмена не должна превышать длительности соответствующих операций рабочего цикла основных аппаратов стадии j ХТС, поэтому

$$Xv_{jf} \geq u_{ij} \frac{env_{ijfl}^{ke} mv_{ijfl} w_i}{dov_{ijfl} Kt_{ijfl} \Delta t_{ijfl}},\ i = \overline{1, I}, l \in Lv_{ijf}, f \in (1,..., Fv_j) \mid tav_{jf} \in (4, 5), ke \in (2, 3), \qquad (3)$$

где Kt_{ijfl}, Δt_{ijfl} – коэффициент теплопередачи и средняя разность температур теплоносителей при ее реализации. Значения Kt_{ijfl} и Δt_{ijfl} рассчитываются в соответствии с рекомендациями [3] по данным регламентов выпуска продуктов.

Значения Xv_{jf} должны выбираться из множеств размеров (производительностей) доступных стандартных аппаратов, то есть $Xv_{jf} \in XvS_{jf}$, $j = \overline{1, J}$, $f = \overline{1, Fv_j}$. Необходимое число вспомогательных аппаратов f-й группы стадии j ХТС, не являющихся составными частями основных аппаратов, определяется отношением времени их занятости к продолжительности рабочего цикла обработки партий соответствующих продуктов, то есть

$$nv_{ijf} = \left]\left(K_{ij} / t_{ij}\right) \sum_{l \in Lv_{ijf}} dov_{ijlf}\right[,\ i = \overline{1, I}, f \in (1,..., Fv_j) \mid tav_{jf} \neq 4, \qquad (4)$$

а для встроенных теплообменников, очевидно, $nv_{ijf} = n_{ij}$, $i = \overline{1, I}$, $f \in (1,..., Fv_j) \mid tav_{jf} = 4$. Здесь $]x[$ – минимальное целое число, большее x; n_{ij} – число основных аппаратов стадии j, задействованных в процессе выпуска i-го продукта.

Общее число вспомогательных аппаратов f-й группы стадии j ХТС МХП

$$Nv_{jf} = \max_{i=\overline{1, I}} \{nv_{ijf}\},\ j = \overline{1, J},\ f = \overline{1, Fv_j}. \qquad (5)$$

В качестве критерия оптимальности выбора вспомогательной аппаратуры ХТС МХП предлагается использовать амортизационные отчисления от ее стоимости за период Tp, то есть функцию

$$Zv = Ek \frac{Tp}{Ty} \sum_{j=1}^{J} \sum_{f=1}^{Fv_j} Nv_{jf} sv(tav_{jf}, Xv_{jf}), \qquad (6)$$

где Ek – нормативный коэффициент окупаемости для оборудования (0,15); Ty – годовой эффективный фонд рабочего времени ХТС с учетом сменности ее работы и переходов с выпуска одних продуктов на другие; $sv(tav_{jf}, Xv_{jf})$ – зависимость стоимости аппарата от его типа и основного размера, например, по состоянию на

середину III квартала 2009 г. в тыс. р. [4], для вертикальных емкостей из нержавеющей стали (мерников и сборников) $sv(tav_{jf}, Xv_{jf}) = 22{,}648 \cdot Xv_{jf}^{0{,}752}$.

Таким образом, постановка задачи выбора вспомогательного оборудования ХТС МХП предусматривает поиск минимума функции (6) при ограничениях (1) – (5). Метод ее решения сводится к определению минимально возможных значений Nv_{jf} и выбору минимально допустимых значений $Xv_{jf} \in XvS_{jf}$, $j = \overline{1,J}$, $f = \overline{1,Fv_j}$ путем их перебора. Совместное решение задач выбора основной и вспомогательной аппаратуры позволяет минимизировать общую стоимость оборудования ХТС МХП, в которой доля вспомогательного оборудования весьма значительна.

Работа выполнена в рамках государственного контракта № 14.740.11.0961 Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы».

Список литературы

1. Малыгин, Е.Н. Методика определения аппаратурного оформления многопродуктовых химико-технологических систем / Е.Н. Малыгин, С.В. Карпушкин, А.Б. Борисенко // Хим. пром-сть сегодня. – 2003. – № 5. – С. 43–50.

2. Карпушкин, С.В. Выбор аппаратурного оформления многоассортиментных химических производств / С.В. Карпушкин. – М. : Машиностроение-1, 2006. – 140 с.

3. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи) / П.Г. Романков. – СПб. : Химия, 1993. – 495 с.

4. Официальный Web-сайт ООО «Техника» (г. Санкт-Петербург) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.emkosti.spb.ru. – Загл. с экрана.

The Choice of Auxiliary Technological Equipment of Multi-Assortment Chemical Industry

E.N. Malygin[1], S.V. Karpushkin[1], P.G. Mikhailova[2]

Department "Computer-Aided Design of Technological Equipment", TSTU (1),
Department "Computer-Integrated Systems in Chemical Engineering",
Russian Chemical-Technological University named after D.I. Mendeleev (2),
Moscow; karp@mail.gaps.tstu.ru

Key words and phrases: choice of auxiliary equipment; chemical process systems; identification of hardware design; multi-product lines of chemical production.

Abstract: This paper is devoted to methods of choosing the auxiliary technological equipment for the phases of chemical-technological systems of multi-assortment chemical industry. The necessary input data, including the results of the selection of the main technological equipment are presented. The mathematical formulation of the problem of choosing the auxiliary equipment and the method for its solution are offered.

Auswahl der technologischen Hilfsausrüstung der vielsortimenten chemischen Produktionen

Zusammenfassung: Der Artikel ist der Methodik der Auswahl der technologischen Hilfsausrüstung der Stadien der chemie-technologischen Systeme der vielsortimenten chemischen Produktionen gewidmet. Es sind die nötigen Ausgangsangaben und auch die Resultate der Auswahl der technologischen Hauptausrüstung aufgezählt. Es ist die matematische Aufgabestellung der Auswahl der Hilfsapparature und die Methode ihrer Lösung vorgeschlagen.

Choix de l'équipement supplémentaire des industries chimiques de multiassortiment

Résumé: L'article est consacré à la méthode du choix de l'équipement supplémentaire des stades des systèmes chimiques et technologiques des industries chimiques de multiassortiment. Sont énumérées toutes les données initiales nécessaires y compris les résultats du choix de l'équipement technologique essentiel. Est proposée la mise mathématique du problème du choix de l'appareillage supplémentaire ainsi que la méthode de la solution.

Авторы: ***Малыгин Евгений Николаевич*** – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования»; ***Карпушкин Сергей Викторович*** – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования», ГОУ ВПО «ТГТУ»; ***Михайлова Павла Геннадьевна*** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в химической технологии», ГОУ ВПО «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева», г. Москва.

Рецензент: ***Кормильцын Геннадий Сергеевич*** – кандидат технических наук, профессор кафедры «Техносферная безопасность», ГОУ ВПО «ТГТУ».