

Постановка задачи выбора вспомогательного оборудования
многоассортиментных производств

А. Мансур, А.А. Артемов

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия

Аннотация: Представлена постановка задачи оптимального выбора вспомогательного технологического оборудования многоассортиментных химических производств. Решением задачи является число аппаратов для каждой группы вспомогательных аппаратов одинакового назначения каждой технологической стадии, а также их геометрические размеры и производительности. Требуется найти оптимальную комбинацию аппаратов из всего множества возможных вариантов, при этом критерием оптимальности, служат суммарные капитальные затраты на оборудование.

Ключевые слова: многоассортиментные производства, выбор аппаратурного оформления

Одной из основных задач, возникающих как при проектировании новых [5], так и при модернизации существующих [10] многоассортиментных химических производств (МХП) [2], является задача выбора аппаратурного оформления (АО) химико-технологических систем (ХТС). Примерами таких производств являются производства фармацевтических препаратов, химических реактивов, синтетических красителей и др.

Результатом решения этой задачи является число основных аппаратов на каждой стадии системы, а также рабочий объём или площадь рабочей поверхности каждого аппарата [7]. Рабочие объёмы и площади рабочих поверхностей обычно выбираются из множества стандартных дискретных значений [1]. Требуется найти оптимальную комбинацию аппаратов из всего множества возможных вариантов, при этом критерием оптимальности, как правило, служат суммарные капитальные затраты на оборудование [4].

Как правило, все математические формулировки этой задачи ориентированы только на основное оборудование стадий ХТС (реакторы, фильтры, сушилки) и не включают соотношения для выбора вспомогательного. При этом число вспомогательных аппаратов стадий ХТС МХП существенно превышает число основных. Наиболее распространёнными типами вспомогательного оборудования аппаратурных стадий ХТС МХП являются мерники жидкого сырья, сборники промежуточных продуктов и отходов, насосы и теплообменники.

Постановка задачи: Для каждой стадии ХТС необходимо найти 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:

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

и выполняются следующие ограничения:

– на рабочий объем мерника жидкого сырья, сборника промежуточного продукта

$$u_{ij} \cdot \frac{vv_{ijfl} \cdot w_i}{\varphi_{ijf}^*} \leq Xv_{jf} \leq u_{ij} \cdot \frac{vv_{ijfl} \cdot w_i}{\varphi_{ijf}^*}, i = \overline{1, I}, f \in (1, \dots, Fv_j) | tav_{jf} \in (1, 2), l \in Lv_{ijf},$$

– на производительность насоса

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

– на рабочую поверхность теплообменника

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

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

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

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

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

$$nv_{ijf} = \begin{cases} \text{INT} \left(K_{ij} \cdot \sum_{l \in Lv_{ijf}} dov_{ijfl} / t_{ij} \right) + 1, tav_{jf} \neq 4 \\ n_{ij}, tav_{jf} = 4 \end{cases}, i = \overline{1, I}, f \in (1, \dots, Fv_j).$$

Обозначения в целевой функции и ограничениях:

Ek – нормативный коэффициент окупаемости для оборудования (0.15);

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

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

w_i, u_i – размеры партий продуктов ХТС и коэффициенты их изменения по стадиям;

φ_{ij} – коэффициенты заполнения мерников и сборников;

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

dov_{ijfl} – 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} – продолжительности циклов переработки партий продуктов на стадиях ХТС;

K_{ij} – 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) –

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

для насосов химических центробежных типа ХЦМ (герметичных, взрывозащищенных) – $sv(tav_{jf}, Xv_{jf}) = 68,516 \cdot Xv_{jf}^{0,095}$ (Xv_{jf} – подача в м³/ч);

для кожухотрубных теплообменников – $sv(tav_{jf}, Xv_{jf}) = 33,44 \cdot Xv_{jf}^{0,579}$ (Xv_{jf} в м²) (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 ($mv_{ijf}, vv_{ijf}, Kt_{ijf}, \Delta t_{ijf}, \varphi_{ij}, dov_{ijf}, env_{ijf}^{ke}$) 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.

Рассматриваемая задача относится к классу задач частично-целочисленного нелинейного программирования (Mixed Integer Nonlinear Programming – MINLP) [3, 8, 9]. В литературе предложены различные подходы к решению этой задачи, например, методы Монте-Карло, генетические алгоритмы, эвристические методы. Одним из популярных методов, используемых для решения оптимизационных задач в различных областях, например, таких как комбинаторная оптимизация, искусственный интеллект, является метод ветвей и границ [6].

В дальнейшем планируется исследование возможности применения этих подходов для решения представленной задачи.

Библиографический список

1. Борисенко А.Б., Карпушкин С.В. Применение метода ветвей и границ для оптимального выбора аппаратурного оформления химико-технологических систем // Вычислительные технологии. 2012. Т. 17. № 1. С. 35–43.
2. Борисенко А.Б., Карпушкин С.В. Иерархия задач аппаратурного оформления технологических систем многоассортиментных химических производств // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2014. № 3. С. 113–123.
3. Борисенко А.Б., Карпушкин С.В. Применение OpenMP для оптимального выбора аппаратурного оформления многоассортиментных производств // Вычислительные технологии. 2015. Т.20. № 4. С. 17–28.
4. Борисенко А.Б., Кутузов Д.В., Осовский А.В. Применение параллельных вычислений для расчета аппаратурного оформления химико-технологических систем // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2011. Т. 17. № 2. С. 493–496.
5. Borisenko A., Haidl M., Gorlatch S. Using Parallel Branch-And-Bound Algorithm on GPUs for Optimal Design of Multi-Product Batch Plants // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2015. Т.21 № 3. С. 406–412.
6. Borisenko A., Haidl M., Gorlatch S. Parallelizing Branch-and-Bound on GPUs for Optimization of Multiproduct Batch Plants // Parallel Computing Technologies. 2015. PP. 324–337.
7. Borisenko A., Kegel P., Gorlatch S. Optimal Design of Multi-product Batch Plants Using a Parallel Branch-and-Bound Method // Parallel Computing Technologies. 2011. PP. 417–430.
8. Hamzaoui Y.El, Hernandez J.A., Cruz-Chavez M.A., Bassam A. Search for Optimal Design of Multiproduct Batch Plants under Uncertain Demand using Gaussian Process Modeling Solved by Heuristics Methods // Chemical Product and Process Modeling. 2010. Vol.5 No.1. PP. 1934–2659.
9. Ponsich A., Azzaro-Pantel C., Domenech S., Pibouleau L. Mixed-integer nonlinear programming optimization strategies for batch plant design problems // Industrial and Engineering Chemistry Research. 2007. Vol. 46. No. 3. PP. 854–863.
10. Mokeddem D., Khellaf A. Multicriteria Optimization of Multiproduct Batch Chemical Process Using Genetic Algorithm // Journal of Food Process Engineering. 2010. Vol.33. No. 6. PP. 979–991.