

О ПОДХОДЕ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ РЕКТИФИКАЦИОННЫХ КОЛОНН МЕТОДОМ ВЕТВЕЙ И ГРАНИЦ

Богула Н. Ю., Зиятдинов Н.Н.

Казанский государственный технологический университет, nellybog@gmail.com

Ректификация – один из наиболее ресурсозатратных процессов, поскольку системы разделения являются высоко металло- и энергоемкими установками. При оптимальном проектировании необходимо найти компромиссное решение между капитальными затратами на установку – они зависят от числа ступеней разделения и потоков флегмы – и эксплуатационными затратами на ведение процесса – организацию паровых потоков, подогрев и охлаждение потоков. В качестве критерия оптимальности в таких случаях используют экономический критерий, включающий в себя и капитальные, и эксплуатационные затраты.

Данную проблему можно представить в виде двух задач. Первая задача - поиск оптимальной последовательности ректификационных колонн, минимизирующей затраты на разделение. Вторая - решение задачи оптимизации ректификационной установки с заданной топологией, минимизирующей приведенные затраты.

В докладе рассматривается подход для решения второй задачи.

Пусть задача оптимального проектирования поставлена следующим образом: заданы параметры многокомпонентного сырья, поступающего на разделение (расход, состав, температура, давление), топология проектируемой установки разделения, требования на качество целевых продуктов. Требуется спроектировать систему ректификационных колонн: определить число тарелок в каждой колонне, места ввода питания, режимы работы колонн, при которых критерий приведенных затрат принимает минимальное значение и выполняются ограничения на качество выпускаемой продукции.

Представим установку ректификации как единую ХТС, состоящую из N ректификационных колонн, для оптимального проектирования которой предлагается использование глобального подхода. В этом случае, задача проектирования сводится к дискретно-непрерывной оптимизации одновременно всей системы, в которой дискретными переменными являются число тарелок исчерпывающей и укрепляющей секций каждой колонны, а непрерывными переменными – режимные параметры.

Задача минимизации критерия оптимальности является задачей дискретно-непрерывного нелинейного программирования (ДННП), где режимные переменные – непрерывные, число тарелок в колоннах – дискретные поисковые переменные.

Очевидно, что в результате решения этой задачи мы также получим номер тарелки питания.

Известно, что одним из наиболее эффективных методов решения задачи ДННП является метод ветвей и границ. (см. например [1]). Метод ветвей и границ не является полностью формализованной процедурой. При применении этого метода для решения какого-либо класса задач необходимо разработать алгоритм получения верхней и нижней оценок и процедуры ветвления. При этом важнейшей задачей при разработке метода ветвей и границ для любого класса задач является разработка метода вычислений нижней оценки. Стандартной процедурой получения нижней оценки в задачах ДННП является переход от дискретных переменных к непрерывным, что превращает задачу получения нижней оценки в обычную задачу нелинейного программирования, имеющую хорошо разработанные методы решения. Этот общий подход здесь не может быть применен, поскольку число тарелок не может быть дробным. В связи с этим в докладе рассматривается новый подход к получению нижних оценок при решении задачи оптимального проектирования системы ректификационных колонн [2].

Рассмотрим уравнение математической модели j -й ректификационной колонны, связывающее равновесную y_{is}^{*jk} и рабочую концентрации y_{is}^{jk} i -го компонента в паровой фазе

на k -ой тарелке s -ой части через η_{ik} - локальный эффективный коэффициент полезного действия тарелки:

$$y_{is}^{jk} = y_{is}^{j,k+1} + \eta_{is}^{jk} (y_{is}^{*jk} - y_{is}^{j,k+1}) \quad (1)$$

Введем переменные α_{sk}^j , где каждая α_{sk}^j соответствует k -й тарелке, s -ой части j -й колонны. С помощью новых переменных модифицируем уравнение (1):

$$y_{is}^{jk} = y_{is}^{j,k+1} + \alpha_{sk}^j \eta_{is}^{kj} (y_{is}^{*kj} - y_{is}^{j,k+1}) \quad (2)$$

Отметим, при $\alpha_{sk}^j = 0$ мы получаем, что $y_{is}^{jk} = y_{is}^{j,k+1}$, $x_{is}^{jk} = x_{is}^{j,k-1}$, то есть при $\alpha_{sk}^j = 0$ k -я тарелка отсутствует. И, наоборот, при $\alpha_{sk}^j = 1$ тарелка присутствует. Используя новые переменные, мы можем сформулировать задачу оптимального проектирования как задачу поиска оптимальных значений переменных α_{sk}^j и режимных переменных.

Преимущества введения в уравнение (1) новых переменных позволит переходить от дискретных переменных к непрерывным, что позволит получать нижние оценки. Для решения используется метод ветвей и границ. Для получения нижней оценки используем непрерывные переменные α_{sk}^j . В этом состоит преимущество перехода от дискретных переменных – числа тарелок в колоннах к переменным α_{sk}^j .

Представим алгоритм поиска в виде дерева-графа. Каждой вершине будет соответствовать набор множеств: множества возможного числа тарелок соответствующих ректификационных колонн. Ветвление проводится по числу тарелок в каждом множестве, путем дробления выбранного на данной итерации множества на два подмножества. Нижняя оценка получается решением задачи, когда все множители тарелок непрерывны, варьируются. В результате решения получаем набор дробных α_{sk}^j . Верхняя оценка получается в результате решения задачи, когда в качестве числа тарелок взята целая часть суммы параметров, полученных при решении непрерывной задачи. Поиск останавливается, когда в колоннах не осталось нерассмотренных тарелок, или же когда нижняя и верхняя оценка близки с заданной точностью.

Предложенный подход был использован для оптимального проектирования системы, состоящей из 3 колонн, с заданной топологией, для разделения 4-компонентной смеси, содержащей пропан, бутан, пентан, гексан. В качестве начального приближения число тарелок для каждой колонны было принято равным 20. Решение было получено за 7 шагов. Оптимальному решению соответствует: для колонны 1 – (7,5), для колонны 2 – (3,5), для колонны 3 – (7,5), где первое число в скобках – число тарелок в исчерпывающей, второе – в укрепляющей секциях колонн.

1. Островский Г.М., Волин Ю.М. Технические системы в условиях неопределенности: анализ гибкости и оптимизация / М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008.
2. Островский Г.М., Зиятдинов Н.Н., Лаптева Т.В., Богула Н.Ю. Оптимальное проектирование системы ректификационных колонн // ДАН. 2009. Т. 429. № 3. С. 1.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ГАЗОВОЇ МЕМБРАННОЇ ДИСТИЛЯЦІЇ

Ладієва Л.Р.

Національний технічний університет України «КПІ», lrynus@yahoo.com

Для отримання чистої і надчистої води з вод різної солоності, очистки стічних вод, концентрування солей з промислових вод застосовується метод мембранної дистиляції. Розглянута мембранна дистиляція через паровий прошарок, в якій на відміну від контактної мембранної дистиляції, пара за приймаючою стороною мембрани конденсується на охолоджуваній поверхні, яка знаходиться на певній відстані від мембрани. Повітря в порах