

## Раздел 15. Основные направления и развития и совершенствования химико-технологических процессов и аппаратов

### Лекция №18

#### Усовершенствования технологии разделения углеводородных смесей

Значение энергосбережения при проектировании и реконструкции ректификационных установок не нуждается в обосновании. Наибольшее влияние на экономичность процесса ректификации оказывает его правильная организация, направленная на снижение источников термодинамических потерь, выбор наиболее эффективного распределения материальных и тепловых потоков, то есть выбор схемы разделения. Известно, что термодинамически идеальный процесс разделения в одной колонне достигается при подводе тепла по всей высоте исчерпывающей секции колонны и отводе тепла также по всей высоте укрепляющей секции (“идеальный каскад”). При этом достигается минимальный расход энергии, хотя одновременно возрастает и число тарелок необходимых для реализации заданного разделения (при флегмовом числе  $R=\infty$  число тарелок возрастает в два раза). При разделении многокомпонентной смеси (МКС) оптимальным оказывается проведение процесса в комплексе сложных колонн с полностью связанными тепловыми и материальными потоками. При этом тепло подводится и отводится только в 2-х точках комплекса (система имеет 1 испаритель и 1 дефлегматор). Комплексы характеризуются большим суммарным количеством связанных секций и чрезвычайно большим суммарным числом тарелок. Изначально заложенная связь по материальным потокам при учете гидравлических сопротивлений вызывает необходимость выделения высококипящих компонентов при более высоких давлениях чем низкокипящих, что практически неприемлемо при разделении ширококипящих смесей, в том числе и нефтяных. Затруднительно также решение вопросов управления такими комплексами. Указанные причины делают проблематичным их использование. Поэтому комплексы колонн, полностью связанных по материальным и тепловым потоками представляют скорее теоретический интерес для оценки термодинамической эффективности принимаемых схемных решений в сравнении с предельно возможной схемой (полностью связанные комплексы).

Заметное снижение энергоемкости процессов разделения достигается и при использовании достаточно известных приемов: многопоточного ввода сырья в ректификационные колонны при разных температурах и агрегатных состояниях отдельных потоков; использовании тепловых насосов; вводе

(отводе) низкопотенциальных тепловых потоков в промежуточные сечения секций колонны; отборе материальных потоков в виде боковых погонов и так далее.

В последние годы ряд работ, направленных на снижение энергопотребления в процессах разделения конкретных продуктов за счет термодинамической оптимизации процессов, внедрен в промышленности:

- в нефтепереработке при выделении бензинов;
- в технологии газофракционирования;
- в процессах стабилизации нефти;
- в технологии разделения продуктов органического синтеза.

Также заметно возросло число патентных разработок, выполненных в направлении термодинамического совершенствования процессов разделения нефтяных смесей, что особенно заметно на фоне как общего снижения патентных разработок в Российской Федерации (РФ), так и особенно резкого снижения разработок в традиционных направлениях (конструкции контактных массообменных устройств). Только представителями Уфимской школы исследователей (Марушкин Б.К., Кондратьев А.А., Деменков В.Н. и другие) за последние 10 лет выполнено более 100 разработок в этой области, приоритет которых защищен патентами РФ. Динамичное развитие разработок в области совершенствования схем разделения подтверждает высокую эффективность этого направления.

Необходимо отметить, что использование комплексов со связанными материальными и тепловыми потоками резко увеличивает число возможных схемных решений. Известно, что при использовании простых колонн число возможных вариантов решения при разделении многокомпонентной смеси определяется уравнением:

$$N = \frac{[2 \times (n - 1)]!}{n!(n - 1)}$$

где  $n$  – число компонентов в смеси,  $N$  – число возможных вариантов разделения.

Например, для 7 – ми компонентной смеси (ШФЛУ, разделяемая на ЦГФУ нефтехимических предприятий)  $N=132$ . При использовании комплексов с частично связанными потоками число возможных вариантов разделения возрастает многократно. В работе проведено исследование процесса разделения четырехкомпонентной смеси. В этом случае при использовании простых колонн  $N=5$ . В работе проведено исследование 14 характерных схем разделения в сложных колоннах со связанными материальными потоками, причем этими вариантами число возможных решений далеко не ограничивается.

Очевидно, что исследование сложных многовариантных схем разделения возможно лишь при самом широком использовании приемов математического моделирования процесса и при наличии специального программного обеспечения, ориентированного на расчет сложных схем разделения. Физический эксперимент приобретает при этом вспомогательное значение, например, для оценки адекватности используемых моделей, для оценки точности используемых методик расчета физико-химических свойств разделяемой системы, для определения настроечных параметров модели (кинетических коэффициентов) и так далее.

### **Пути повышения эффективности процессов разделения**

Одним из важных резервов повышения эффективности разделения нефтяных смесей является совершенствование колонной аппаратуры и прежде всего контактных массообменных устройств. Важность развития работ в этом направлении отмечалась в решениях практически всех Международных, Всесоюзных и Всероссийских конференций последних лет по вопросам ректификации.

В работе проведен анализ работ в направлениях совершенствования: тарельчатых контактных устройств; нерегулярных (насыпных) насадок; регулярных пакетных насадок; сепарирующих устройств.

Среди контактных устройств наиболее широко как в отечественной промышленности, так и за рубежом используются клапанные тарелки. В США это клапанные тарелки фирмы Глитч, флексии – трей фирмы Кох. В РФ свыше 60 % колонн оборудовано клапанными тарелками конструкции ВНИИНЕФТЕМАШ и УкрНИИхиммаш. Данные тарелки позволили примерно на 15-20 % увеличить производительность ректификационных колонн в сравнении с тарелками перекрестного тока, а также почти в 2 раза снизить металлоемкость оборудования по сравнению с колпачковыми и желобчатыми тарелками. В нефтехимии успешно применяются модификации струйных тарелок конструкции профессора Г.П. Соломахи и ВНИИНЕФТЕМАШ.

Для процессов ректификации и абсорбции, проводимых под давлением, хорошие результаты дало использование высокоскоростных струйно – центробежных тарелок. Тарелки состоят из унифицированных контактных элементов диаметром 380 мм, из которых формируется рабочее полотно тарелки. Максимальное значение фактора скорости пара может достигать значения  $9 \div 10$  при нагрузке по жидкости  $5 \text{ м}^3/\text{ч}$  и  $4,5 \div 5$  при нагрузке  $40 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Данные тарелки с 1986 г. успешно эксплуатируются на установке ЦГФУ АО “Нижнекамскнефтехим” в колоннах диаметрами  $1400 \div 4000$  мм и при

числе тарелок до 101 (изопентановая колонна). Интересные конструкции высокоинтенсивных контактных устройств отмечены в работах. Так, например, в работах показана возможность реконструкции колонн установки получения моторных топлив путем частичной замены клапанных тарелок на новую неупорядоченную насадку. В результате выход светлой фракции повышается с 100 м<sup>3</sup>/час до 112 – 114 м<sup>3</sup>/час.

В последние годы в нефтепереработке и нефтехимии резко возросла роль процессов, проводимых под вакуумом. Для данных процессов наибольшее значение имеет величина гидравлического сопротивления, приходящаяся на единицу высоты разделительной способности (ВЭТТ – высота эквивалентная теоретической тарелке). Данная характеристика в значительной мере определяет перепад давления по высоте колонны, а значит и давление в кубах ректификационных колонн, которое весьма существенно влияет на экономичность процесса разделения. Современные вакуумные колонны оснащаются регулярной насадкой, которая позволяет в несколько раз снизить сопротивление по сравнению с тарельчатыми устройствами.

Активно внедряются регулярные насадки фирм *Sulzer*, *Koch*, *Norton*, Инжехим и другие. Так в 1997г. на АО “Нижнекамскнефтехим” в блоке ректификации стирола внедрена регулярная насадка фирмы “*Norton*”. При этом за счет повышения эффективности разделения и снижения гидравлических сопротивлений в системе ректификации удалось принципиально изменить саму схему разделения, отказавшись от дополнительных колонн, обеспечивавших доочистку целевых фракций за счет организации рецикловых связей (колонн – “чистильщиков”). Хорошие показатели дала насадка Инжехим в колонне извлечения гликолей.

В нефтепереработке в вакуумных блоках установок АВТ использование регулярной насадки позволяет существенно уменьшить количество водяного пара, подаваемого в колонны в качестве отпаривающего агента. Так фирма *Sulzer* сообщает о снижении подачи водяного пара в два раза после замены тарелок в вакуумной колонне АВТ на насадку “Меллапак 250 – Y”. При этом перепад давления в колонне составил всего 10 мм.рт.ст.

В последние годы различные виды нерегулярных и регулярных насадок разработаны различными авторами (Кулов Н.Н., Мемедлев З.Н., Лебедев Ю.Н. и другие). Это ромбовидная насадка, каскадные насадки, насадка “Ваку – Пак” и разные другие. Насадка регулярная компануется в виде блоков, что значительно упрощает вопросы монтажа. Сопоставление насадок конструкции ВНИИНЕФТЕМАШ показывает, что они по своим основным характеристикам не уступают заграничным аналогам. Эффективная насадка разработана также в институте общей и неорганической химии РАН (ИОНХ).

В то же время следует отметить, что стоимость всех типов регулярных насадок вместе с опорной конструкцией и распределителями орошения существенно выше, чем стоимость контактных устройств (тарелок). Поэтому всем решениям по реконструкции должен предшествовать тщательный технико-экономический анализ ожидаемых результатов.

В некоторых случаях (например, в процессе разделения нефтепродуктов) может оказаться полезным и использование новых видов нерегулярной насадки, например Инжехим и другие.