

ПРОБЛЕМА АДЕКВАТНОСТИ АЛГОРИТМОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГАЗОВОГО СЕПАРАТОРА

Андреева А.А., Савельев Я.А.

Научный руководитель: Семенов Н.М.

Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр-т Ленина, 30

E-mail: anastasia_a7@mail.ru

Введение

В химической технологии широко распространены процессы разделения двухфазных газожидкостных систем, в частности, сепарация на составляющие фазы – газ и жидкость. Для этих целей используются сепараторы.

Сепаратор – это обязательный элемент любой технологической схемы промышленной подготовки нефти и газа на нефтяных и газоконденсатных месторождениях. Он является составной частью оборудования в процессах переработки нефти, газа и газового конденсата. В процессе работы любого сепаратора изменение химического состава разделяемых веществ не происходит.

Газовые сепараторы (назначение и основные функции)

Газовые сепараторы предназначены для отделения природного газа от воды, конденсата и твердых частиц. В газовых сепараторах разделяют газожидкостную смесь с относительно небольшим содержанием жидкости.

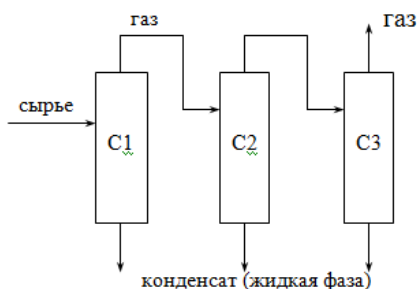


Рис. 1. Принципиальная схема сепарационного блока: C1, C2, C3 – сепараторы

Обычно сепараторы состоят из нескольких секций. Каждая секция выполняет определенные функции.

- Секция ввода обеспечивает равномерный ввод газожидкостной смеси и отделение крупнодисперсной фазы (в особенности при высоком начальном содержании жидкой фазы) и равномерный ввод газожидкостной смеси в аппарат.

- Секция коагуляции мелких капель жидкости предназначена для укрупнения мелких капель жидкости, отделения укрупненных капель и выравнивания подачи газа в секцию окончательной очистки. Эта секция расположена в зоне осаждения перед секцией окончательной очистки.

- Секция окончательной очистки обеспечивает заданную эффективность сепарации в диапазоне его нагрузок, как по жидкости, так и по газу.

Расчет однократного испарения многокомпонентной углеводородной смеси

Сепарация является сочетанием физических и массообменных процессов, протекающих между газовой и жидкой фазами, содержащими большое количество компонентов, т.е. является сложным многокомпонентным процессом. При построении математических моделей, обладающих высокой точностью, необходимо учитывать физико-химические закономерности их протекания. В то же время модель должна иметь приемлемую для расчетов размерность и возможность решения известными численными методами.

Рассмотрим математическое описание процессов, протекающих в газовом сепараторе [1], и алгоритм моделирования его работы. Все расчеты проводятся в предположении, что в процессе сепарации происходит однократное испарение компонентов смеси и при этом достигается состояние равновесия [1, 2]. Однократное испарение (равновесная дистилляция) характеризуется испарением части жидкости и продолжительным контактом паров с неиспарившейся жидкостью до того, как будет достигнуто фазовое равновесие. При фазовом равновесии принимают, что за единицу времени количество молекул, переходящих из паровой фазы в жидкость, равно количеству молекул, переходящих из жидкости в пар. Устройство, осуществляющее процесс однократного испарения, представлено на рисунке 2.

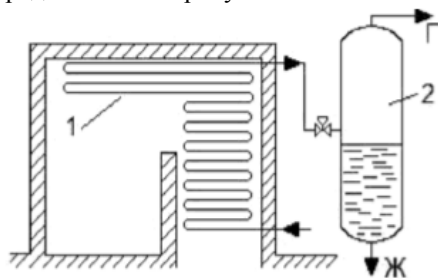


Рис. 2. Аппарат для однократного испарения смеси

Разделяемая смесь идет по трубам 1, которые снаружи обогреваются топочными газами. Образовавшаяся при этом смесь непрерывно начинает поступать в сепаратор 2 для механического отделения жидкости от пара. Пары (П) затем поступают в конденсатор, откуда в приёмник стекает дистиллят и отводится в сборник оставшаяся в сепараторе жидкость (Ж).

Аппарат однократного испарения используется при разделении смесей, компоненты которых сильно различаются по температуре кипения (широкие смеси). При выполнении этого условия отпадает необходимость получения конденсата из пара и обеспечения многократного контакта потоков пара и жидкости.

Давление насыщенных паров

Одним из основных параметров, который рассчитывается в процессе сепарации, является давление насыщенных паров компонентов.

Давлением насыщенных паров называют давление паров, находящийся в равновесии с жидкой фазой при данной температуре. Каждой температуре соответствует свое давление насыщенных паров. Чем выше температура, тем больше давление насыщенных паров, и наоборот.

Информация о величине давления насыщенных паров позволяет судить о наличии или изменении концентрации углеводородных фракций в многокомпонентных углеводородных смесях. Она нужна для учета потерь и выполнения технологических расчетов различных процессов. Поэтому важно располагать надежными методами анализа, позволяющими рассчитывать давление насыщенных паров многокомпонентных углеводородных смесей.

Определить давление насыщенных паров можно по различным расчетным формулам, одна из них – формула Ашворта [2]:

$$P_i = 10^5 \cdot \exp \left[6.172 \cdot \left(1 - F(T) / F(T_i) \right) \right],$$

где P_i – давление насыщенных паров, Па; T – температура однократного испарения; T_i – температура кипения углеводорода или углеводородной фракции.

Функция $F(T)$ находится из уравнения.

$$F(T) = \frac{1250}{\sqrt{(T + 273)^2 + 108000} - 307.6} - 1.$$

Было замечено, что данная формула не обладает достаточной универсальностью и адекватностью, т.к. в ней не полностью учитывается влияние химической природы углеводородов [4].

Несколько выводов, полученных при изучении данной формулы:

- формула Ашворта дает достаточно хорошие результаты (погрешность составляет около 10%), но применима она только при давлении, близком к атмосферному;
- более или менее точные значения формула дает только для тяжелых углеводородов;
- на давление насыщенных паров оказывает влияние фракционный состав, отношения объемов

паров и жидкости, температура, например, при низких температурах формула Ашворта дает несколько заниженные значения.

Таким образом, модель Ашворта как и некоторые другие эмпирические модели из-за низкой адекватности и узкой специализации не могут быть рекомендованы для расчетов давления паров узких нефтяных фракций.

Тем не менее, ничего нового пока не было придумано, а формула Ашворта до сих пор применяется для расчета давления насыщенных паров в процессе моделирования сепарации газожидкостной смеси.

При расчете данного параметра необходимо делать поправку на изменение атмосферного давления, а так же учитывать температуры, при которых происходит процесс сепарации. Ведь у многих компонентов, в частности углеводородов (этан, пропан), критическая температура выше 300°C, и, как следствие, они переходят уже в сверхкритическое состояние, то есть исчезает различие между жидкостью и газом. Одним из важных свойств сверхкритического состояния является способность к растворению веществ. Образовавшиеся сверхкритические флюиды неограниченно смешиваются между собой, поэтому при достижении критической точки смеси система всегда будет однофазной, что не учитывается при расчетах.

Заключение

Создание более точных математических моделей процесса сепарации позволит создавать эффективные алгоритмы управления при автоматизации технологических процессов. Эмпирическая модель Ашворта, используемая при расчетах, не удовлетворяет необходимой точности расчетов нефтяных смесей при температуре свыше 300 °C и давлении больше 2 МПа [3].

Литература

1. Кравцов А.В. и др. Математическое моделирование химико-технологических процессов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 136 с.
2. Танатаров М.А. и др. Технологические расчеты установок переработки нефти. – М.: Химия, 1987. – 352 с.
3. Галиаскаров Ф.М. Расчет ректификации нефтяных смесей. – Уфа: Изд-во Башкирского университета, 1999. – 152 с.
4. Введение в информатику процессов первичной переработки нефти [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ad.cctpu.edu.ru/2009/InformProcPererNef.pdf>, свободный.