

Раздел 11. Перегонка и ректификация и конструкция ректификационных колонн. Расчет

Лекция №13

Перегонка и ректификация

Одним из наиболее распространенных методов разделения жидких однородных смесей, состоящих из двух или большего числа компонентов, является перегонка.

Различают простую и сложную перегонки. Простая перегонка представляет собой процесс однократного частичного испарения жидкой смеси и конденсации образующихся паров. Простая перегонка применима только для разделения смесей, летучести компонентов которой существенно различны, т.е. отношение летучестей (относительная летучесть) компонентов значительна.

Значительно более полное разделение жидких смесей на компоненты достигается путем ректификации. Ректификация – процесс разделения бинарных или многокомпонентных паровых, а также жидких смесей на практические компоненты или их смеси, обогащенные легколетучими или тяжелолетучими компонентами.

Движущей силой процесса ректификации, также как и процесса простой перегонки, является различная летучесть компонентов. Величина этой силы определяется условиями равновесия между жидкостью и паром, а также соотношением расходов парового и жидкостного материальных потоков.

При ректификации исходную смесь доводят до температуры кипения и из исходной смеси испаряется пар, обогащенный более летучим компонентом, т.е. с меньшей температурой кипения (низкокипящий компонент), а оставшаяся жидкость будет содержать компонент с меньшей летучестью (с большей температурой кипения).

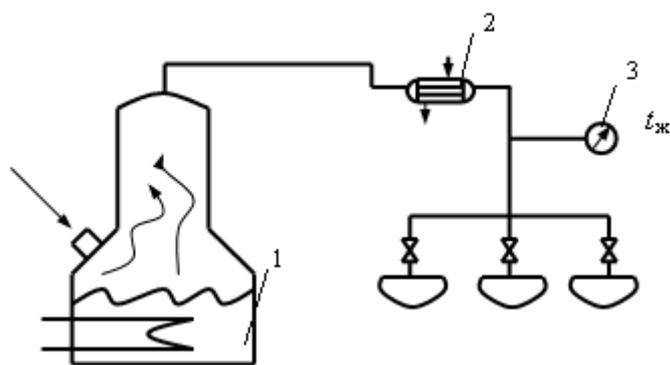
Повторяя многократно процесс испарения-конденсации, можно разделить исходную смесь на практически чистые компоненты. Разделение проводится в ректификационных колоннах, которые могут быть насадочными или тарельчатыми периодического или непрерывного действия.

Сверху колонны отбирается пар легколетучего компонента, который конденсируется в холодильнике – дефлегматоре. Полученный продукт после дефлегматора называется дистиллятом. Часть продукта, возвращающегося в верхнюю часть колонны, называют флегмой. Жидкость, которая отирается из

нижней части колонны (куб) называют кубовым остатком. Он содержит компонент с меньшей летучестью (с большей температурой кипения).

Ректификация известна с начала XIX века как один из важнейших технологических процессов главным образом спиртовой и нефтяной промышленности. В настоящее время ректификация широко используется в химической, нефтехимической, легкой и других отраслях промышленности. Однако данный процесс характеризуется большой энергоемкостью, т.к. исходная смесь должна находиться при температуре кипения постоянно.

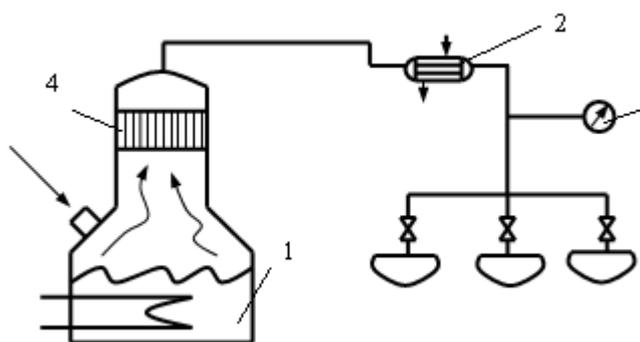
Схема и работа установки периодического действия для перегонки жидкости



1 - куб колонны; 2 – холодильник – дефлегматор; 3 – термомпара

В куб колонны загружена исходная смесь F, которая при помощи подогревателя доводится до температуры кипения. Образовавшиеся пары поднимаются вверх по колонне и конденсируются в холодильнике-дефлегматоре. В зависимости от температуры получаемого дистиллята он направляется в одну из емкостей. Например, в E1 собирается фракция с меньшей температурой кипения, а в E3 – с большей. Такая перегонка называется фракционной.

Схема и работа установки периодического действия с дефлегматором



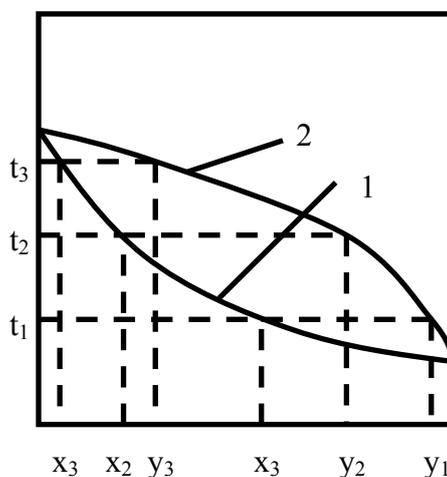
1 - куб колонны
2 – холодильник – дефлегматор
3 – термомпара.
4 – встроенный дефлегматор.

Встроенный дефлегматор охлаждается какой-либо жидкостью и на поверхности труб происходит частичная конденсация паров, которые имеют меньшую летучесть. Далее флегма стекает и попадает в куб колонны.

Т.о. дефлегматор 4 значительно повышает эффективность процесса перегонки жидкости. Далее процесс идет аналогично описанному выше.

Недостатком данных схем является ограниченная область применения. Для разделения больших объемов жидких смесей используют непрерывную ректификацию.

Физическая сущность непрерывной ректификации на примере t-x,y-диаграммы

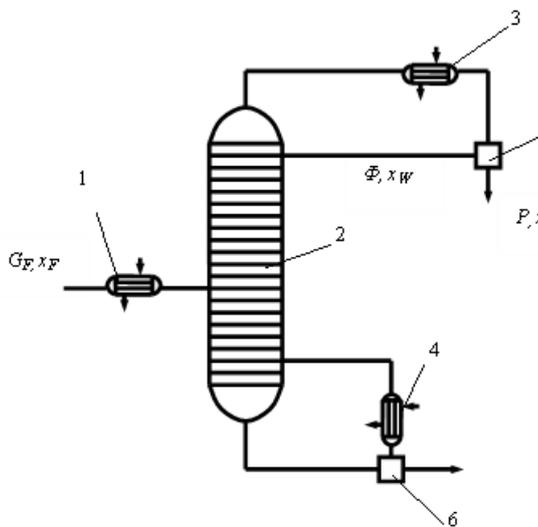


где x – концентрация низкокипящего компонента в жидкой фазе; y – концентрация низкокипящего компонента в паровой фазе; 1,2 – линии кипения смеси и конденсации паров соответственно.

Исходная смесь состава x_3 доводится до температуры кипения t_3 . Образовавшиеся пары y_3 обогащены более летучим компонентом. Получим смесь состава x_2 . Далее процессы повторяются аналогично до требуемого качества.

Схема установки непрерывного действия

Процесс непрерывной ректификации проводят в колонных аппаратах – ректификационных колоннах.



- 1 – подогреватель исходной смеси до температуры кипения;
- 2 – ректификационная колонна, представляющая собой цилиндрический аппарат, в котором установлены массообменные тарелки/насадки.
- 3 – холодильник-дефлегматор;
- 4 – кипятыльник кубовой жидкости;
- 5 – делитель флегмы;
- 6 – делитель кубовой жидкости.

Материальный баланс по всей установке:

$$G_F = P + W$$

Материальный баланс по компонентам:

$$G_F \cdot x_F = P \cdot x_P + W \cdot x_W$$

Исходная смесь с расходом G_f подогревается в теплообменнике 1 до температуры кипения и далее поступает на тарелку питания. Внизу колонны кипятыльник непрерывно подогревает кубовую жидкость и отработавшие пары поднимаются вверх по колонне и контактируют со стекающей жидкостью. На каждой тарелке происходит процесс массо- и теплообмена.

Верхняя часть колонны – укрепляющая, нижняя – исчерпывающая.

Пары сверху колонны поступают в дефлегматор 3, где конденсируются. При этом часть жидкости возвращается в колонну в виде флегмы Φ для орошения укрепляющей части, а часть P отбирается в виде готового продукта.

При расчете колонны важным является определение флегмового числа:

$$R = \frac{\Phi}{P}$$

Чем больше R , тем больше энергозатраты на ректификацию.

Для расчетов колонны используют уравнения рабочих линий для верхней и нижней секций:

$$y = A \cdot x + b$$

где A и b – коэффициенты, зависящие от флегмового числа R , расходов пара и жидкости, начальной концентрации.

Рабочая скорость паров:

- в колонне для насадки находят из условий захлебывания:

$$W_{\text{раб}} \approx 0,7 \cdot W_3$$

- в тарельчатой колонне:

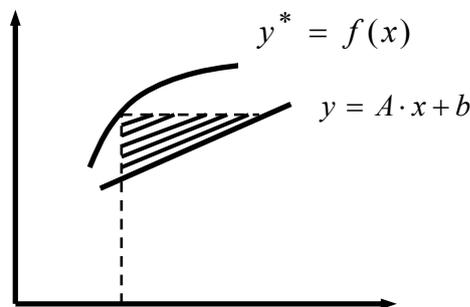
$$W_{\text{раб}} = C \cdot \sqrt{\frac{\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{ж}}}}$$

Число тарелок и высота насадки зависят от:

- равновесия «пар-жидкость»;
- требований к качеству разделения;
- КПД насадки или тарелки.

Для определения числа реальных тарелок первоначально находят число теоретических тарелок.

Теоретическая тарелка – это изменение концентрации от рабочей до равновесной. Ее находят из уравнения рабочей линии $y = A \cdot x + b$ и кривой равновесия.



Заштрихованная область соответствует теоретической тарелке.

Высота эквивалентная теоретической тарелке (ВЭТТ) – высота насадок в колонне, где происходит изменение концентраций, эквивалентных теоретической тарелке.

Высота слоя насадки в процессе ректификации определяется по числу теоретических тарелок, потребных для заданного разделения, и по высоте насадки, эквивалентной одной теоретической тарелке:

$$H = n_T \cdot \text{ВЭТТ}$$

Определение ВЭТТ является одной из сложнейших и важнейших задач расчета процесса ректификации в насадочных колоннах.

Значение ВЭТТ для колонны небольшого диаметра равно $0,1 \div 0,3$ м, для колонны с диаметром более 1 метра – $0,6 \div 1,2$ м.

Чем меньше значение ВЭТТ, тем лучше, т.к. при одинаковом числе теоретических тарелок в колонне требуется меньшая высота слоя, и, как следствие, меньше высота колонны и ниже ее стоимость.

Увеличение ВЭТТ при увеличении диаметра колонны связано с масштабными эффектами, т.е. с усилением гидродинамических неоднородностей, которые снижают эффективность массопередачи.

Значение ВЭТГ у мелкой насадки меньше, т.к. эффективность массопередачи за счет большой поверхности контакта фаз высокая, у мелкой же насадки значительно больший перепад давления.