

Лекция №13. Экстрагирование

Экстрагированием называется извлечение одного или нескольких компонентов из смеси веществ путём обработки её жидким растворителем, обладающим способностью избирательно растворять только извлекаемые компоненты. В химической промышленности наиболее распространена экстракция в системах жидкость-жидкость.

Жидкостная экстракция предусматривает две технологические операции:

- контактирование исходной смеси с растворителем, в ходе которого осуществляется собственно массообменный процесс, т.е. переход компонента через границу раздела из одной фазы в другую;
- отделение полученного раствора от оставшейся жидкой смеси.

Таким образом, жидкостная экстракция предполагает неполную взаимную растворимость исходной смеси и растворителя – в противном случае вторая операция неосуществима. Операция контактирования фаз обычно проводится путём распределения (дробления) одной фазы в виде капель в объёме другой.

Разделение жидких смесей экстрагированием ведётся при низких температурах, что даёт возможность разделить смесь, состоящую из термически нестойких компонентов. Экстрагированием можно разделить азеотропные смеси, а также смеси, состоящие из близкокипящих компонентов.

Экстрактом называется экстрагент, содержащий извлечённый компонент и часть исходного растворителя. Исходная смесь, обеднённая извлекаемым компонентом и содержащая некоторое количество экстрагента, называется рафинатом.

Экстрагент должен обладать селективностью, лёгкой регенерируемостью, отличаться от исходного раствора по плотности и вязкости, обеспечивающих процесс расслоения фаз. Кроме того, экстрагент должен по возможности быть малолетучим, нетоксичным, доступным и с низкой стоимостью.

Экстрагирование включает следующие основные операции:

- смешение исходной смеси веществ и экстрагента с целью более тесного контакта между ними;
- механическое разделение двух несмешивающихся фаз на так называемые экстракт и рафинат;
- удаление и регенерацию экстрагента из экстракта и рафината.

Разделение образовавшихся фаз может происходить вследствие разности плотностей, либо под действием поля центробежных сил. Регенерация экстрагента из рафината и экстракта может производиться дистилляцией, ректификацией, выпариванием и другими методами.

Промышленные методы экстрагирования могут осуществляться в аппаратуре периодического и непрерывного действия. В первых исходная смесь и растворитель загружаются периодически и в процессе экстракции непрерывно может выделяться только один компонент исходной смеси. В установках непрерывного действия загрузка исходной смеси и растворителя осуществляется непрерывно и непрерывно выделяются оба компонента разделяемой исходной смеси.

В настоящее время жидкостная экстракция применяется в химической технологии, гидрометаллургии, аналитической химии для извлечения, разделения, концентрирования и очистки веществ. Экстракционные процессы используются в производстве органических продуктов, антибиотиков, пищевых продуктов, редкоземельных элементов, ряда редких, цветных и благородных металлов, в технологии ядерного горючего, при очистке сточных вод.

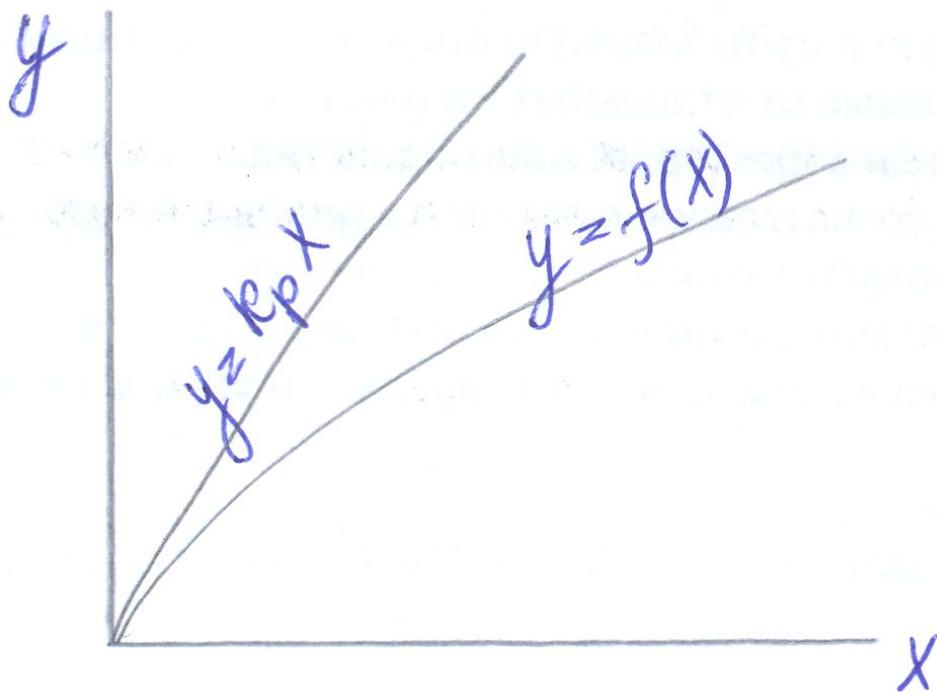
Физические основы процесса экстракции

Физическая сущность экстракции состоит в переходе извлекаемого компонента из одной фазы в другую – фазу экстрагента – при взаимном соприкосновении исходной смеси и экстрагента, вследствие стремления системы к состоянию равновесия.

В состоянии равновесия при определённой температуре концентрации растворённого вещества в экстракте и рафината находятся между собой в функциональной зависимости

$$y = f(x) \quad (1)$$

Эта зависимость на диаграмме в системе координат x - y может быть изображена в виде кривой, ход которой определяется экспериментально на основе простых измерений. Иногда равновесие может быть изображено на диаграмме x - y в виде прямой или уравнением $y = k_p \cdot x$ (2), т.е. система подчиняется закону равновесного распределения вещества между экстрактом и рафинатом.



Здесь k_p – постоянная величина при данной температуре, называется коэффициентом распределения
 $k_p = y/x$

Уравнение (2) справедливо при условии, если исходный растворитель и экстрагент взаимно совершенно нерастворимы, отсутствует ассоциация или диссоциация молекул экстрагируемого вещества и отсутствует химическое взаимодействие между фазами.

Процессы экстрагирования подчиняются общим законам массопередачи. Уравнение материального баланса для процесса экстракции в общем виде можно записать:

$$- L \cdot dx = G \cdot dy \quad (3)$$

Уравнение (3) интегрируется в пределах в зависимости от условий проведения экстрагирования.

Рассмотрим случай, когда жидкости взаимно нерастворимы.

Примем, что y_0 – содержание чистого растворителя,

x_0 – начальное содержание экстрагируемого компонента в исходной смеси,

x_1 – конечное содержание экстрагируемого компонента в той же смеси,

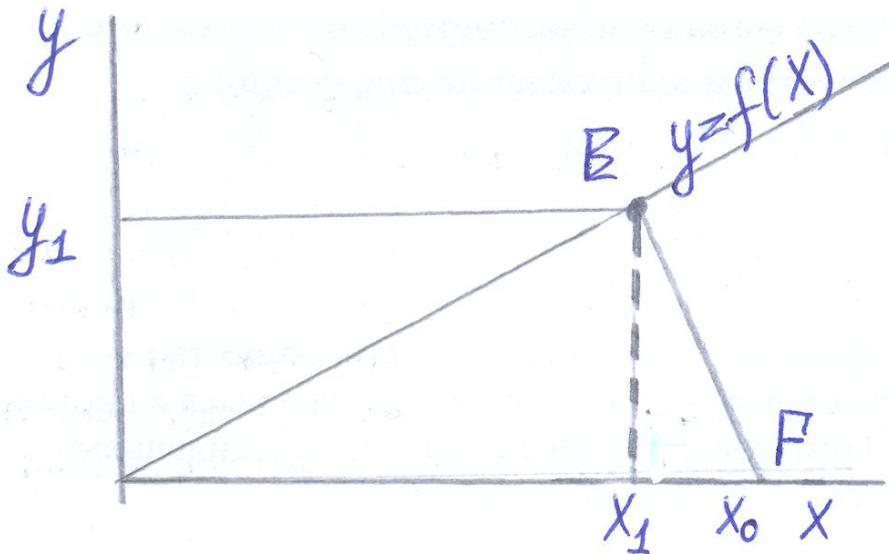
y_1 – конечное содержание экстрагируемого компонента в экстрагенте.

При однократном контакте жидкостей (исходной смеси и экстрагента) уравнение материального баланса проинтегрируется в пределах от x_0 до x_1 и от 0 до y_1 , т.е.

$$-L \int_{x_0}^{x_1} dx = G \int_0^{y_1} dy, \text{ откуда}$$

$$-L \cdot (x_1 - x_0) = G \cdot y_1 \quad (4)$$

$$y_1 = -\frac{L}{G} (x_1 - x_0)$$



FE – рабочая линия пересекает кривую равновесия в точке E, определяя состав экстракта y_1 и рафината x_1 . FE – рабочая линия пересекает кривую равновесия в точке E, определяя состав экстракта y_1 и рафината x_1 .

Положение рабочей линии при однократном контакте.

Если справедлив закон распределения, то совместное решение уравнения равновесия $y = k_p \cdot x$ и уравнение (4) приводит к соотношению:

$$\begin{aligned} -L \cdot (x_1 - x_0) &= G \cdot k \cdot x \quad \text{или} \\ L \cdot x_0 &= L \cdot x_1 + k \cdot G \cdot x_1, \quad \text{откуда} \\ x_1 &= L \cdot x_0 / (L + k \cdot G) \end{aligned}$$

- уравнение позволяет вычислить состав жидкости после экстрагирования

Противоточная экстракция

В общем дифференциальное уравнение материального баланса

$$-L \cdot dx = G \cdot dy$$

подставим пределы интегрирования для противоточной схемы, и будем иметь:

$$\begin{aligned} -L \int_{x_n}^{x_k} dx &= G \int_{y_k}^{y_n} dy, \quad \text{откуда} \\ L \cdot (x_n - x_k) &= G \cdot (y_k - y_n), \end{aligned}$$

и тогда удельный расход растворителя получим

$$\frac{L}{G} = \frac{y_k - y_n}{x_n - x_k}$$

Диаграмма экстракции

Чтобы установить общую картину разделения тройных смесей, рассмотрим эффект прибавления вещества С к смеси из двух компонентов. Принимаем, что вещества А и В, а также В и С полностью смешиваются, но вещества А и С являются ограниченно смешивающимися.

Бинарные смеси А и С, составы которых изображаются точкой между Р и Q, распадаются на две фазы Р и Q.

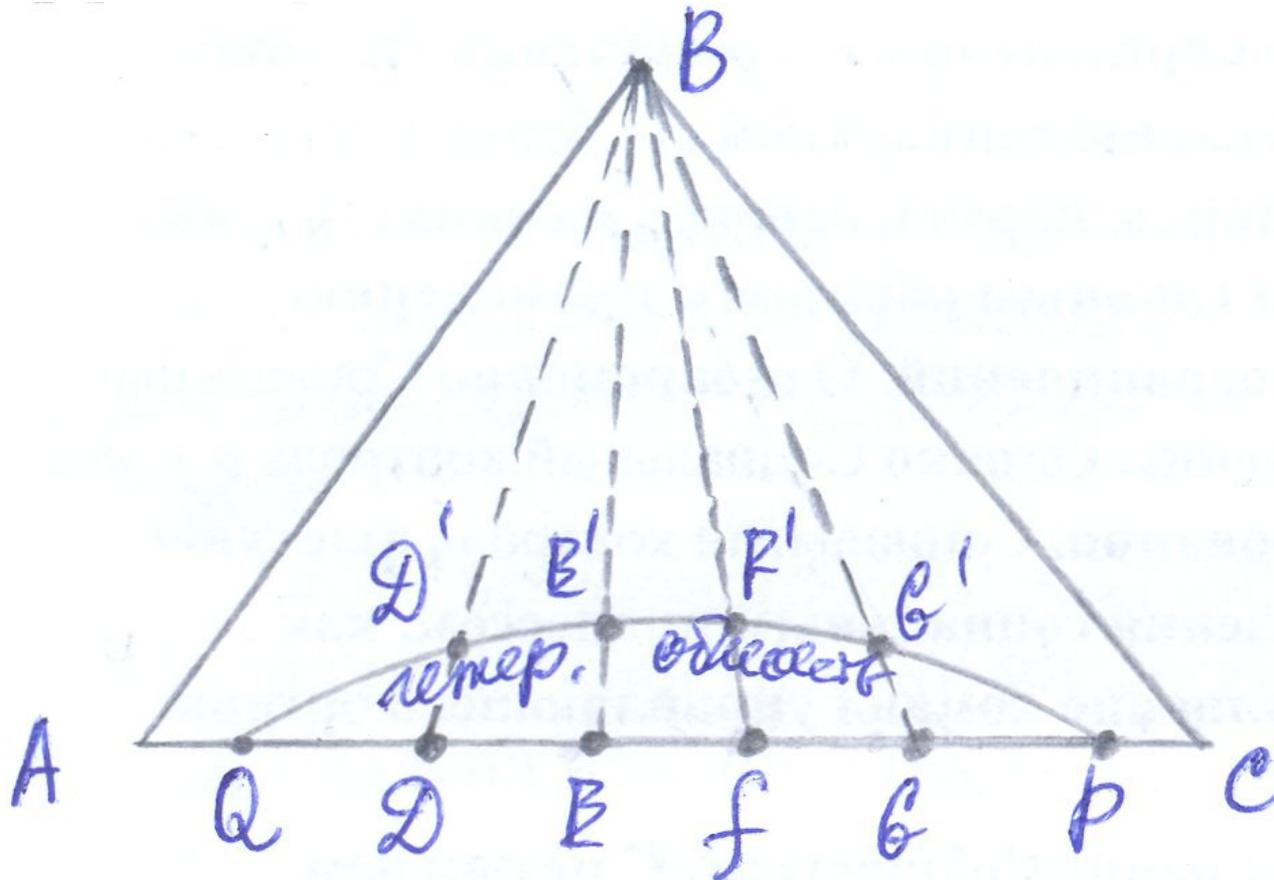


Диаграмма экстракции

Рассмотрим смесь, общий состав которой определяется точкой D . Эта смесь разделяется на фазы P и Q в отношении двух отрезков $DQ : DP$. Если компонент B прибавляется каплями к смеси D , то отношение фаз будет постепенно изменяться. Количество одной из фаз будет уменьшаться до тех пор, пока, наконец, не будет достигнуто состояние, при котором в результате прибавления достаточного количества B к смеси D исчезает фаза с наибольшим содержанием компонента C , и смесь становится однородной. Это состояние изображается на диаграмме точкой D' , представляющей точку смешения A, C, B .

При прибавлении компонента B к другой гетерогенной бинарной смеси F, E, G , имеется возможность для любой бинарной смеси подобрать такое количество B , которое обеспечило бы получение однородной тройной смеси (E', F', G').

Таким образом, получим плавную кривую, которая называется бинодальной кривой. Внутри этой площади система всегда гетерогенна (зона расслаивания), а остальная часть диаграммы представляет однородную систему.