

Содержание

5. Жидкостная экстракция.....	2
5.1 Равновесие и закон распределения	3
5.3 Материальный баланс.....	8
5.4 Основные способы проведения экстракции.....	10
5.5 Устройство и принцип действия экстракторов.....	12
5.6 Расчет экстракторов.....	17

5. Жидкостная экстракция

Под жидкостной экстракцией понимают процесс перехода одного или нескольких растворенных веществ из одной жидкой фазы в другую, практически нерастворимую или частично растворимую в первой, но растворяющую эти вещества. Процесс протекает при непосредственном контакте двух жидких фаз. Экстракцию из твердых веществ жидкостью (растворителем) часто называют экстрагированием. Если в этом процессе в качестве растворителя используется вода, то такую экстракцию называют выщелачиванием. Процессы жидкостной экстракции применяются в химической, нефтехимической, фармацевтической, гидрометаллургической и других отраслях промышленности, при получении редких и рассеянных элементов и т. п. с целью извлечения ценных или токсичных веществ из растворов, в том числе и из сточных вод предприятий, а также для получения концентрированных растворов этих веществ.

Жидкостную экстракцию, наряду с перегонкой, следует рассматривать как один из основных методов разделения однородных жидких смесей. Процесс экстракции обычно экономически выгоднее, например, ректификации в тех случаях, когда концентрация извлекаемого компонента мала (поскольку при экстракции не нужно испарять всю жидкую смесь). Кроме того, экстракцию целесообразно применять в случае, если смесь невозможно или трудно разделить ректификацией или разделяемая смесь разлагается при нагревании. Обычно жидкостную экстракцию сочетают с ректификацией, которую применяют для регенерации экстрагирующей жидкости, называемой экстрагентом или растворителем. Наряду с ректификацией для регенерации экстрагента применяют такие методы, как нагревание, выпаривание и др. Плотности экстрагента и разделяемого раствора должны быть различными.

Раствор извлеченных веществ в экстрагенте называют экстрактом, а раствор, из которого удалены экстрагируемые компоненты-рафинатом.

Таким образом, процесс экстракции всегда связан с добавлением к разделяемому раствору экстрагента, что неизбежно приводит к загрязнению продуктов разделения и к необходимости последующей очистки и, естественно, к удорожанию процесса.

5.1 Равновесие и закон распределения

По правилу фаз Гиббса:

$$C = K - \Phi + n, \text{ где}$$

C - число степеней свободы

K - число компонентов

Φ - число фаз

n - изменяющиеся параметры

При проведении процесса жидкостной экстракции обычно температура не изменяется, а давление на равновесие в системе жидкость-жидкость практически не оказывает влияния. Поэтому для экстракции величина $n = 0$.

Тогда для трехкомпонентной системы жидкость-распределяемое вещество-жидкость $C = 1$ ($K = 3$, $\Phi = 2$, $n = 0$), и в ней можно изменять концентрацию одной из фаз без нарушения равновесия. При этом $y^* = f(x)$, т. е. данной концентрации распределяемого вещества x в одной фазе в состоянии равновесия соответствует определенная концентрация y^* вещества в другой фазе. Эта связь следует так называемому закону распределения: отношение равновесных концентраций распределяемого между двумя

жидкими фазами вещества при постоянной температуре есть величина постоянная:

$$y^* = m \cdot x$$

y^* и x - равновесные концентрации распределяемого вещества, соответственно в экстракте и рафинате в относительных единицах; m -коэффициент распределения.

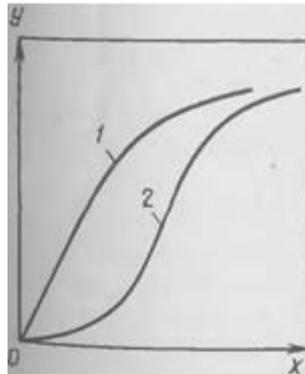


Рис. 5-1. Типичные изотермы экстракции неэлектролитов (1) и электролитов (2)

Линии равновесия на диаграмме y — x при постоянной температуре называют изотермами экстракции (рис. 5-1). Если известны изотермы для разных температур, то становится возможным выбор оптимальной температуры экстрагирования. Может оказаться, например, что наиболее экономичным будет проведение процесса экстракции при нагревании.

Треугольные диаграммы

Часто фазы, участвующие в процессе жидкостной экстракции, частично растворимы друг в друге. В таких случаях экстракт помимо экстрагента и растворенного вещества содержит еще некоторое количество растворителя из исходного раствора, а рафинат помимо первоначального растворителя и некоторого количества растворенного вещества — определенное количество экстрагента. Оба раствора состоят из трех компонентов. Составы этих фаз удобно представлять в треугольной системе координат (рис. 5-2).

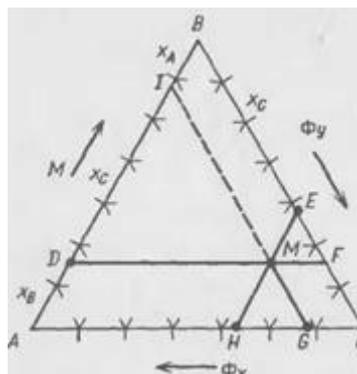


Рис. 5-2. Обозначение концентраций на треугольной диаграмме

Вершины A, B и C обозначают чистые компоненты. Стороны AB, BC и CA соответствуют составам двухкомпонентных растворов. На каждой стороне нанесена шкала в молярных или массовых процентах (от 0 до 100%). Точки на площади треугольника соответствуют составам трехкомпонентных растворов, причем концентрация того или иного компонента раствора определяется длиной отрезков, проведенных параллельно каждой из сторон треугольника до пересечения с другими (например, для точки M концентрации раствора характеризуются точками D, E, H составляющие 18% компонента A, 25% компонента B и 57% компонента C). Действительно, сумма отрезков $ME + MD + MH$ равна стороне треугольника, например AB, так как $MB = ID$, $ME = IB$, $MH = AD$, а сумма отрезков $AD + ID + IB = AB$, т.е. их сумма составляет 100%. Таким образом, любая точка внутри треугольника выражает состав трехкомпонентной системы, а точки на его сторонах - составы двухкомпонентных систем.

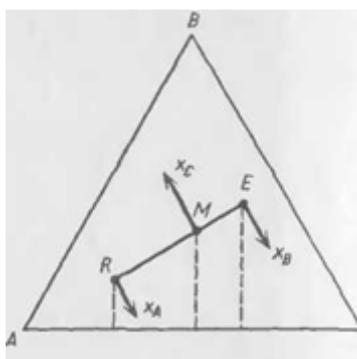


Рис. 5-3. Применение правила рычага на треугольной диаграмме

С помощью треугольных диаграмм, используя правило рычага, можно достаточно просто определить не только состав, но и количество (массу) фаз (рис. 5-3). Средний состав смеси, образующейся при смешении двух трехкомпонентных смесей (например, состава E и R) лежит на отрезке прямой, соединяющей эти точки (например, состава M). Эта точка M по правилу рычага разделяет полученный отрезок на отрезки, обратно пропорциональные количествам (массам) исходных смесей.

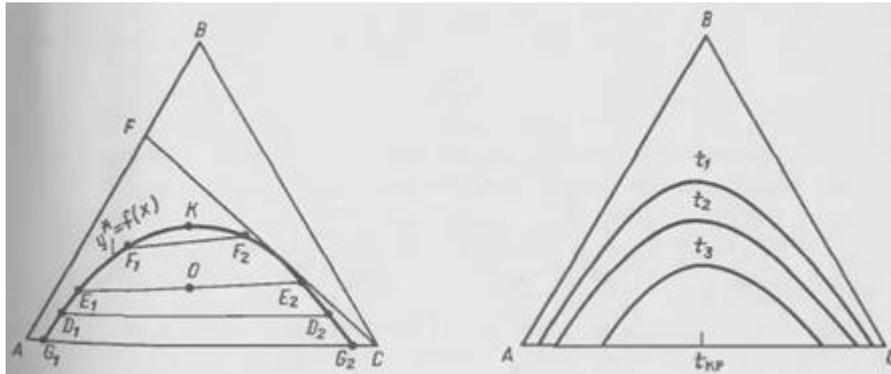


Рис. 5-4. Равновесная кривая на треугольной диаграмме Рис. 18-6. Влияние температуры на положение бинодальных кривых

Если к растворам компонентов A и C, составы которых на рис. 18-5 изображаются точками G_1 и G_2 , добавить третий компонент B, то составы трехкомпонентных расслаивающихся растворов будут соответствовать точкам D_1 и D_2 . Хорда, соединяющая точки D_1 и D_2 , соответствует растворам, находящимся в равновесии друг с другом. При дальнейшем добавлении компонента B получим расслаивающиеся системы, характеризующиеся точками E_1 и E_2 , и т.д. Эти точки постепенно сближаются, поскольку добавление компонента B в систему улучшает взаимную растворимость компонентов A и C. Наконец, после прибавления еще некоторого количества компонента B взаимная растворимость компонентов A и C настолько возрастает, что образуется однофазный раствор, характеризуемый точкой K. Эту точку называют критической. Соединяя точки D_1 , E_1 и т. д., получают равновесную, или бинодальную, кривую, выше которой система однофазна и для процесса экстрагирования интереса не представляет.

Хорды, соединяющие точки D_1 и D_2 , E_1 и E_2 и т. д. на бинодальной кривой, называют конодами, которые непараллельны друг другу, так как компонент В неравномерно распределяется между компонентами А и С. Любая точка, например точка О на рис. 5-4, лежащая внутри площади, ограниченной равновесной кривой, соответствует двухфазной системе, составы которой E_1 и E_2 выражены концами хорды, проходящей через точку О. На участках AG_1 , и CG_2 на стороне АС образуются однородные (гомогенные) растворы компонентов А и С. На участке G_1G_2 любая смесь компонентов А и С расслаивается на два однородных двухкомпонентных насыщенных раствора (А и С).

Поскольку растворимость зависит от температуры, то с изменением температуры будет менять свое положение и бинодальная кривая. Обычно взаимная растворимость с повышением температуры увеличивается, поэтому область существования гетерогенных систем уменьшается и при достаточно высоких температурах эта область может вообще исчезнуть. Температуру, соответствующую полному взаимному растворению компонентов системы и образованию таким образом гомогенного раствора, называют критической.

5.2 Выбор растворителя (экстрагента)

Основным свойством экстрагента является селективность, которая характеризует его способность преимущественно извлекать один из двух, трех или более компонентов раствора.

Высокая селективность позволяет снизить расход экстрагента и более экономично проводить процесс жидкостной экстракции.

Основные промышленные экстрагенты можно подразделить на три группы:

1. органические кислоты или их соли (фенолы, нафтеновые кислоты, сульфокислоты и т. п.), которые извлекают катионы металлов в органическую фазу из водной;

2. соли органических оснований (соли первичных, вторичных и третичных аминов и т. п.), с помощью которых извлекают анионы металлов из водных растворов;

3. нейтральные растворители (вода, спирты, альдегиды, кетоны и т. п.

Амины служат хорошими экстрагентами для анионных форм металла.

Обычно применяют не чистые органические экстрагенты, а их растворы в инертных растворителях (керосин).

Широкое распространение получила экстракция при помощи эфира фосфорной кислоты трибутилфосфат (ТБФ), образованного с редкоземельными элементами и устойчивые комплексные соединения в водных растворах, причем ТБФ одновременно является экстрагентом.

Селективность (избирательность) экстрагирования характеризуется коэффициентом селективности или коэффициентом разделения:

$$\beta_B = \frac{m_B}{m_A}$$

Из этого следует, что с увеличением m_B селективность возрастает. При $\beta_B = 1$ селективность равна 0, т.е. разделение смеси экстрагированием невозможно, то при выборе экстрагента необходимо, чтобы $\beta_B > 1$. В реальных условиях значение β_B должно быть не менее 2.

Увеличить значение m_B можно также введением в систему неэкстрагируемой соли, т. е. применением метода «высаливания».

К другим требованиям (помимо высокой селективности) можно отнести легкость осуществления регенерации, хорошее расслоение фаз (для этого необходимо, чтобы экстрагент обладал низкой вязкостью и достаточно высоким поверхностным натяжением, большим отличием плотности от плотности исходного раствора), безопасность при работе) экстрагент не должен быть токсичным.

5.2 Материальный баланс

При однократном взаимодействии фаз (периодическая экстракция) материальный баланс процесса по потокам принимает вид уравнения:

$$F + S = E + R$$

Где F, S – количество исходного раствора и экстрагента соответственно, кг.

Это уравнение может быть использовано и для непрерывного процесса при условии, что все входящие в него величины выражаются в единицах расхода, например в кг/с. Для рассматриваемого случая уравнение рабочей линии процесса экстракции описывается общим для массообменных процессов уравнением:

$$y_k = y_n + \frac{L}{G} \cdot (x_n + x_k)$$

Однако чаще участвующие в жидкостной экстракции фазы обладают частичной взаимной растворимостью. Поэтому количества потоков по высоте экстрактора будут изменяться, а значит отношение L/G в уравнении (15.9) не будет постоянным. Тогда очевидно, что на диаграмме $y - x$ рабочая линия будет криволинейной. Поскольку в этом случае система является как минимум трехкомпонентной, то для анализа таких систем целесообразно воспользоваться треугольной диаграммой для построения не только равновесных, но и рабочих концентрационных зависимостей, и поэтому уравнение выглядит:

$$F + S = M = E + R$$

Выражение позволяет представить материальный баланс на треугольной диаграмме (рис. 5-5), например, как процесс смешения потоков $F + S = M$ и затем разделения этой тройной смеси состава M на потоки $R + E$.

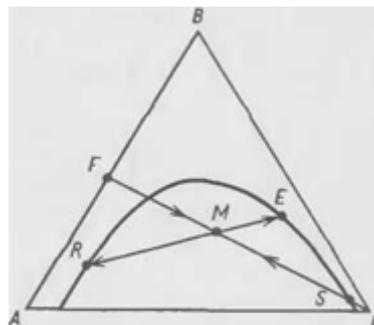


Рис. 5-5. К выводу уравнения материального баланса жидкостной экстракции

5.3 Основные способы проведения экстракции

Любое экстрагирование обязательно включает в себя две основные стадии: смешение растворителя с исходной смесью для создания между ними тесного контакта и разделение образовавшейся смеси на экстракт и рафинат. Очень часто процесс экстрагирования сопровождается регенерацией экстрагента, т.е. удалением его из экстракта и рафината.

В химической технологии используются в основном следующие способы проведения экстракции: однократная экстракция, многократная экстракция с перекрестным и противоточным движением растворителя, непрерывная противоточная экстракция. Наибольшее распространение в промышленности получила экстракция одним растворителем, хотя находит применение и экстракция двумя экстрагентами

Однократная экстракция (ступенчатая)

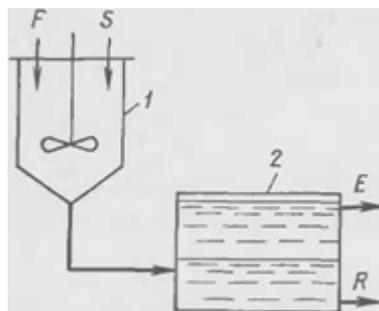


Рис. 5-6. Схема однократной (одноступенчатой) экстракции:

1-смеситель; 2-отстойник-сепаратор

Исходный раствор F и экстрагент S перемешивают в смесителе 1 (рис. 5-6), после чего в отстойнике 2 разделяют на два слоя: экстракт E и рафинат R. Обычно считают, что в смесителе 1 вследствие интенсивного перемешивания и достаточного времени контакта устанавливается фазовое равновесие, т. е. однократная экстракция позволяет достигнуть эффективности, соответствующей теоретической ступени изменения концентрации. Степень извлечения при таком методе проведения экстракции

можно повысить, увеличивая подачу экстрагента в аппарат 1, но это приведет к снижению концентрации экстракта и удорожанию процесса.

Процесс можно осуществлять как периодически, так и непрерывно. При периодической организации процесса стадию разделения экстракта и рафината можно проводить в смесителе 1. В этом случае отпадает необходимость в отстойнике 2.

Многokратная экстракция

Применяется с противоточным движением экстрагента:

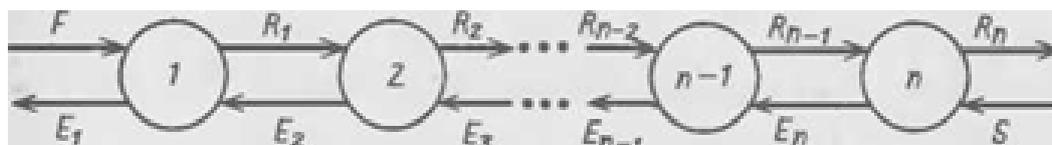


Рис 5-7. Схема многokратной экстракции с противоточным движением растворителя

Этот способ проведения экстрагирования характеризуется многokратным контактированием в ступенях 1, 2 и т. д. при противоточном движении потоков рафината R и экстракта E (рис. 5-7) при условии подачи исходного раствора F и экстрагента S с противоположных концов установки. Поскольку способ проведения экстракции при противоточном движении растворителя позволяет обеспечить получение продуктов заданного качества при достаточно высокой производительности установки, этот способ экстрагирования находит достаточно широкое применение в промышленности.

Непрерывная противоточная экстракция.

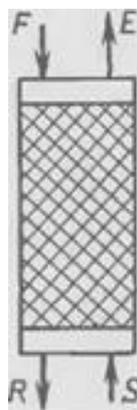


Рис. 5-8. Схема непрерывной противоточной экстракции

Более тяжелый раствор (например, исходный) непрерывно подают в верхнюю часть колонны (рис. 5-8), откуда он стекает вниз. В нижнюю часть колонны поступает легкая жидкость (в нашем случае-растворитель), которая поднимается вверх по колонне. В результате контакта этих растворов происходит перенос распределяемого вещества из исходного раствора в экстрагент.

5.4 Устройство и принцип действия экстракторов

По принципу взаимодействия или способу контакта фаз экстракторы подразделяют на две группы: ступенчатые и дифференциально-контактные. Внутри этих групп экстракторы часто подразделяют на гравитационные (скорость фаз в них обусловлена разностью плотностей этих фаз) и механические (при добавлении потокам энергии извне путем механического перемешивания, действием центробежной силы, поршневым пульсатором и т. д.). Практически в любом из аппаратов названных групп для увеличения поверхности контакта фаз одна из фаз различными способами диспергируется и распределяется в другой, сплошной фазе в виде капель. После каждого перемешивания фаз в аппаратах следует сепарация этих фаз, что необходимо прежде всего для регенерации экстрагента (под действием гравитационных или центробежных сил).

Это необходимо и для регенерации экстрагента. В промышленности чаще всего используют экстракторы непрерывного действия независимо от типа. Они имеют высокую производительность.

Дифференциально-контактные экстракторы

Экстракторы этой группы отличаются непрерывным контактом между фазами и плавным изменением концентрации по высоте аппарата. В таких экстракторах (в отличие от ступенчатых) равновесие между фазами по сечению аппарата не достигается. Дифференциально-контактные экстракторы компактнее ступенчатых и занимают меньшую производственную площадь.

В гравитационных экстракторах движение фаз происходит вследствие разности их плотностей. К гравитационным экстракторам относятся распылительные, насадочные и тарельчатые колонны.

Наиболее простыми по устройству представителями гравитационных экстракторов являются распылительные колонны (рис. 5-9).

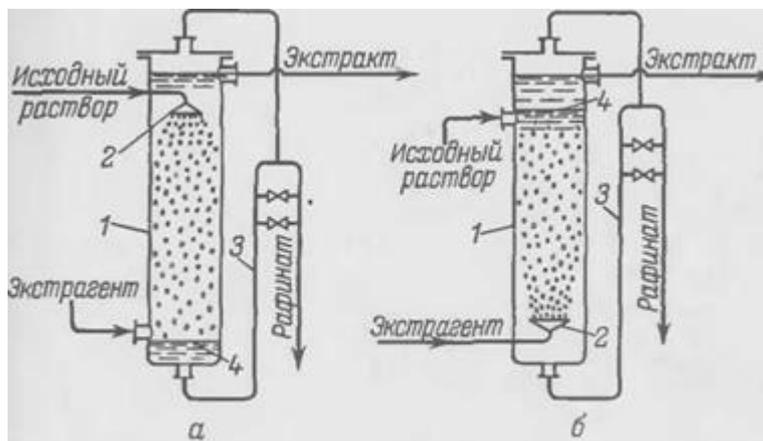


Рис. 5-9. Полые (распылительные) колонные экстракторы:

а - с распылением тяжелой фазы; б - с распылением легкой фазы; 1 - экстракторы;

2 - разбрызгиватели; 3 - гидрозатворы; 4 - поверхности раздела фаз

Они представляют собой полые колонны 1 с устройствами 2 для диспергирования тяжелой (рис. 18-16,а) или легкой (18-16,б) фаз (исходного раствора или экстрагента). Сплошная фаза перемещается противотоком дисперсной. Капли диспергированной жидкости, пройдя сквозь столб сплошной фазы, коалесцируют и выходят из колонны. Тяжелая фаза уходит через гидрозатвор 3, с помощью которого регулируют уровень раздела фаз в колонне. Для лучшего отделения фаз иногда верхнюю и нижнюю части колонны делают большего диаметра (при этом снижается скорость сплошной фазы и улучшаются условия сепарации фаз).

Насадочные экстракторы

Достаточно широкое распространение в промышленности получили насадочные экстракторы (рис. 5-10), которые по конструкции аналогичны насадочным абсорберам.

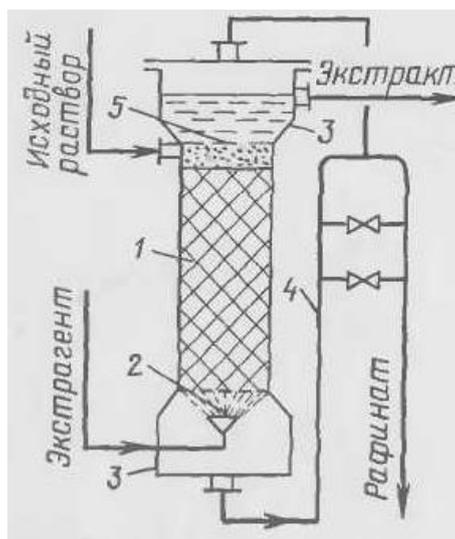


Рис.5-10 Насадочный экстрактор:

1-насадка; 2-распределитель; 3-отстойники; 4-гидрозатвор; 5-
поверхность раздела фаз

В качестве насадки 1 часто используют кольца Рашига, а также и насадки других типов. Насадку располагают на опорных решетках секциями, между которыми происходит перемешивание фаз. Одну из фаз (на рис. 5-10 - экстрагент) диспергируют с помощью распределительного устройства 2 в потоке сплошной фазы (исходный раствор). В слое насадки капли могут многократно коалесцировать и затем дробиться, что повышает эффективность процесса. Очень важным является выбор материала насадки. Она должна предпочтительно смачиваться сплошной фазой, поскольку при этом устраняется возможность нежелательной коалесценции капель и образования на поверхности насадки пленки, что приводит к резкому снижению поверхности контакта фаз. Отметим, что керамическая и фарфоровая насадки лучше смачиваются водной фазой, чем органической, а пластмассовая насадка обычно лучше смачивается органической фазой. Разделение фаз в насадочных колоннах происходит в отстойных зонах 3, часто имеющих больший диаметр, чем диаметр экстрактора, для лучшей сепарации фаз.

Тарельчатые колонны

В качестве экстракторов в принципе можно использовать любую из рассмотренные в гл. 16 конструкций тарельчатых колонн, но в промышленности наибольшее применение нашли ситчатые экстракторы (рис. 5-11). В этих аппаратах одна из жидких фаз многократно диспергируется и коалесцирует, проходя через большое число сверленных или штампованных отверстий в тарелке 1. Скорость процесса экстракции при этом возрастает вследствие многократного диспергирования фазы, что сопровождается «концевыми» эффектами при входе этой фазы из отверстий тарелки в сплошную фазу.

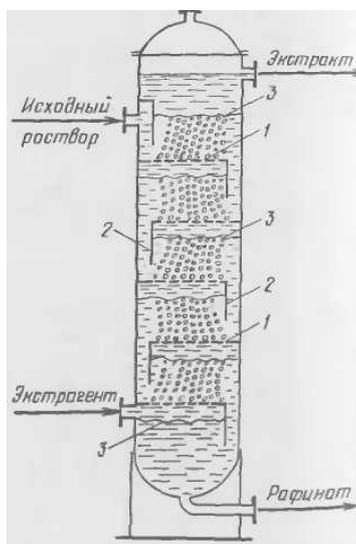


Рис. 5-11. Экстрактор с ситчатыми тарелками:

1-тарелки; 2-перегородки тяжелой фазы с тарелки на тарелку; 3-границы раздела расслаивающихся фаз

Дифференциально-контактные механическим экстракторам

В них осуществляется подвод внешней энергии в контактирующие фазы. Одним из распространенных в технике механических экстракторов является роторно-дисковый экстрактор (рис. 5-12).

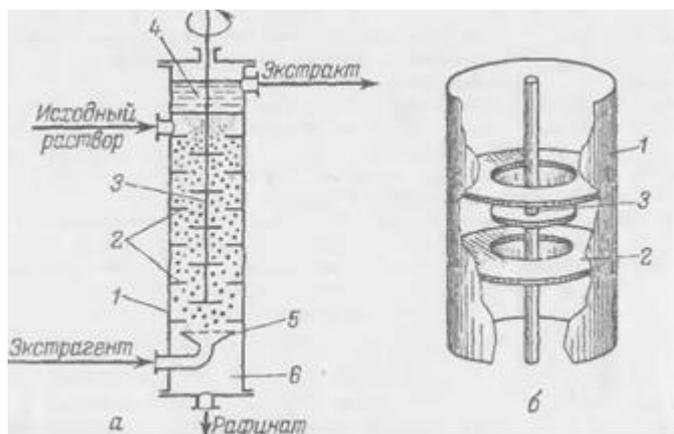


Рис. 5-12. Роторно-дисковый экстрактор (а) и один из вариантов его секции (б):

- 1 - колонна; 2 - кольцевые перегородки; 3 - вал ротора с плоскими дисками;
4,6- отстойные зоны соответственно для легкой и тяжелой фаз; 5-
распределитель легкой фазы

В этом экстракторе на равном расстоянии друг от друга укреплены неподвижные кольцевые перегородки 2 (статор), делящие колонну на ряд секций небольшого объема. По оси колонны 7 на валу 3 располагаются гладкие горизонтальные диски (ротор). Диаметр дисков ротора несколько меньше диаметра отверстий колец статора.

При вращении вала с дисками под действием сил трения и центробежных сил возникает движение сплошной фазы к стенкам аппарата, достигнув которых, жидкость движется вверх и вниз вдоль стенки и отражается кольцами статора. На это движение жидкости накладывается осевое. Диспергируемая распределителем 5 легкая фаза (экстрагент) движется противотоком к сплошной.

При этом дисперсная фаза многократно дробится дисками при столкновении со стенками и под действием турбулентных пульсаций. Дробление на капли сопровождается их коалесценцией при взаимных столкновениях, что способствует повышению интенсивности процесса массопередачи. После перемешивания при обтекании кольцевых перегородок, ограничивающих секции колонны, фазы частично разделяются

вследствие разности плотностей. В отстойных зонах 4 и 6 фазы разделяются и затем выходят из аппарата.

Применение пульсаций в процессе экстракции способствует лучшему диспергированию жидкости.

5.5 Расчет экстракторов

Рассмотрим на примере одноступенчатой или однократной экстракции. Принимаем, что фазы взаимно не растворимы. В этом случае процесс удобно рассматривать на фазовой диаграмме $y-x$ и материальный баланс по распределенному веществу:

$$F_{xH} + S_{yH} = E_{yK} + R_{xK}$$

При сравнительно невысоких концентрациях распределенного вещества можно сделать допущения, что

$$E \approx S = G$$

$$R \approx F = L$$

Тогда уравнение принимает вид: $L_{xH} + G_{yH} = G_{yK} + L_{xK}$

Следовательно: $\frac{y_K - y_H}{x_K - x_H} = -\frac{L}{G}$.

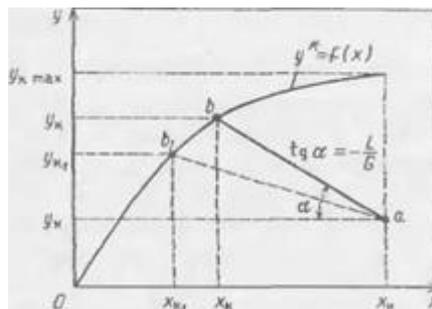


Рис. 5-13. К построению процесса однократной экстракции на диаграмме $y-x$

Последнее выражение является уравнением прямой линии, имеющей наклон, arctg которого равен $-\frac{L}{G}$. В качестве заданных величин при расчете однократной периодической экстракции являются количество исходного раствора F (в кг), его концентрация x_H , начальная концентрация y_H экстрагента.

Соотношение между количествами экстракта и рафината:

$$\frac{R}{E} = \frac{ME}{RM}$$

Тогда количество рафината:

$$R = M \frac{EM}{RE}$$

$$E = M - R$$

$$F + S = M$$

Длины отрезков $AB=43$ мм, $AF=20$ мм, $FB=23$ мм т.е в точке F смесь двухкомпонентная.

Она состоит:

$$\frac{23}{43} \cdot 100\% = 53\% - A$$

$$100\% - 53\% = 47\% - B$$

Добавляем экстрагент S , состав которого т. C . Состав трёхкомпонентной смеси лежит на линии, соединяющий т. F и C . Пусть состав соответствует т. H .

Длина отрезка $FC=38$ мм, $MC=22$ мм, $FM=16$ мм

Тогда количество смеси состава F :

$$\frac{22}{38} \cdot 100\% = 58\% - F$$

$$100\% - 58\% = 42\% - C$$

Компонента C меньше, следовательно H лежит ближе к F . Пусть смеси состава F было 1000 кг, тогда из положения т. H следует, что к смеси добавили C :

$$1000 \cdot \frac{16}{22} = 727 \text{ кг} - C$$

Общая масса смеси 1727 кг.

Длины отрезков $ER=27$ мм, $RM=18$ мм, $ME=9$ мм, т.е количество смеси состава E больше, чем R

$$1727 \cdot \frac{18}{27} = 1152 \text{ кг} - E$$

$$1727 - 1152 = 575 \text{ кг} - R$$

Определим составы жидкостей в точке E и R:

В т. E по смыслу больше всего компонента C, затем B и меньше всего компонента A.

Если длина стороны графика 43 мм C=25 мм, B=14 мм, A=4 мм тогда получим:

$$C = \frac{25}{43} \cdot 100\% = 58\% = 668 \text{ кг}$$

$$B = \frac{14}{43} \cdot 100\% = 33\% = 380 \text{ кг}$$

$$A = \frac{4}{43} \cdot 100\% = 9\% = 104 \text{ кг}$$

Определим состав жидкости в точке R:

Если длина стороны: A=32 мм, B=7 мм, C=4 мм тогда получим:

$$A = \frac{32}{43} \cdot 100\% = 74\% = 425 \text{ кг}$$

$$B = \frac{7}{43} \cdot 100\% = 17\% = 98 \text{ кг}$$

$$C = \frac{4}{43} \cdot 100\% = 9\% = 52 \text{ кг}$$

m=1000 кг, A=530 кг, B=470 кг + C=727 кг

Получаем 1727 кг жидкости, разделяется на 2 несмешивающиеся:

E=1152 кг- экстракт

R=575 кг-рафинат

Вещество	Исходная жидкость(F)	Экстрагент (S)	Экстракт (E)	Рафинат (R)	Итого (E+R)
B	470	-	380	98	478
A	530	-	104	425	529

С	-	727	668	52	720
---	---	-----	-----	----	-----

Расчет дифференциально контактных экстракторов.

Принципиально не отличается от расчета абсорбционных ректификационных колонн. Основная цель расчета-определение диаметра и высоты аппарата применяемые в промышленности.

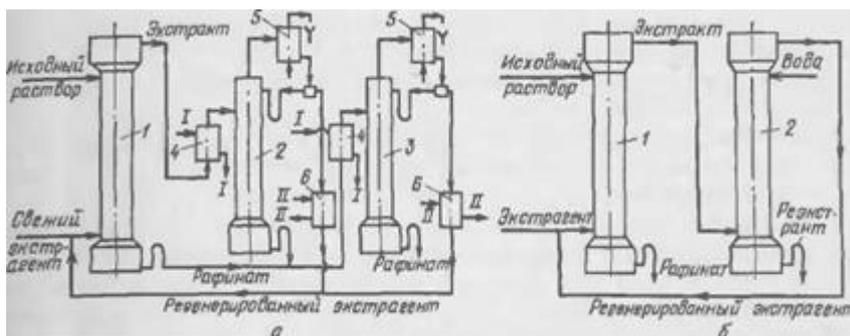


Рис. 5-15. Принципиальные схемы установок для проведения жидкостной экстракции:

а-схема с регенерацией экстрагента ректификацией: 1-экстрактор; 2, 3- ректификационные колонны; 4 -теплообменники-подогреватели; 5- дефлегматоры; 6-холодильники; 1-теплоносители; 11-охлаждающие агенты;

б-схема с реэкстракцией: 1-экстрактор;

2-реэкстракционная колонна

Принципиальная схема процесса непрерывной экстракции приведена рис 5-15а. процесс соответственной экстракции происходит в колонном экстракторе 1, после чего проводится выделение извлеченных веществ из экстракта в реакционной колонне 2 и экстрагента из рафината в реакционной колонне 3.

На рис. 5-15б показана схема кстракции солей металлов, отличается тем, что после полного экстрагирования соль извлекается из экстракта путем перехода их в водный раствор реэкстракция в колонне 5. Экстрактор 4 может иметь промышленную секцию для дополнительной обмывки экстракта от нежелательных примесей.