

Системы твердое тело-жидкость

ОХТ (2-ой семестр)
Зильберглейт М.А.

Экстракция в системе твердое тело — жидкость представляет собой процесс **извлечения** (благодаря избирательной растворимости) **одного или нескольких компонентов из сложного твердого вещества** пористой структуры. Извлекаемый компонент содержится в **порах твердого вещества** либо в **твердом виде**, либо в **растворенном состоянии** .

В первом случае экстракция заключается в *извлечении твердой фазы*, причем извлекаемый компонент последовательно *растворяется* в *жидкости* (избирательном *растворителе*), проникающей в поры исходного сложного твердого вещества, *диффундирует* к *наружной поверхности* последнего и затем *диффундирует* от этой поверхности в основную массу жидкости. **Во втором случае процесс сводится к извлечению растворенного вещества**, которое диффундирует из пор твердого вещества в

При любом состоянии извлекаемого компонента в порах (твердом или жидком) скелет сложного твердого вещества остается неизменным и играет в процессе экстрагирования роль инертного носителя. В химической технологии широко распространены процессы **растворения** твердых тел в жидкостях. Под растворением мы будем понимать **переход вещества в раствор с поверхности твердых частиц**, целиком состоящих из растворяющегося вещества. **Таким образом, в отличие от экстракции, здесь растворяющееся твердое тело не имеет инертного (нерастворимого) скелета.** Из указанного выше механизма процессов экстрагирования следует, что в них распределяемому веществу приходится **преодолевать как внутреннее, так и внешнее диффузионное**

**Первое связано с диффузией вещества изнутри пор твердых частиц к их поверхности,
второе — с диффузией от поверхности через пограничный слой жидкости в ее основную массу.**

При растворении же преодолевается лишь одно внешнее диффузионное сопротивление. Поэтому процессы растворения протекают быстрее процессов экстрагирования

В качестве избирательных растворителей при экстракции из твердых веществ в химической промышленности наиболее часто применяют воду или водные растворы некоторых неорганических кислот; при этом процесс извлечения называют

выщелачиванием.

Выщелачивание является, в частности, первой стадией химической переработки минерального сырья, из которого этим способом извлекают ценные компоненты, отделяемые от инертного материала (пустой породы). При взаимодействии избирательного растворителя с исходным твердым материалом обычно

После смешения твердой и жидкой фаз одновременно начинаются процессы **проникновения растворителя в поры под действием капиллярных сил и растворения целевых компонентов, находящихся на внешней поверхности пористых частиц и в устьях крупных капилляров.**

Проникновению растворителя препятствует воздух, находящийся в порах, из-за чего **продолжительность процесса может быть значительной.** Для ускорения процесса применяют **предварительное вакуумирование сырья, замену воздуха на легкорастворимый газ, повышение**

Равновесие при экстракции в системе твердое тело - жидкость наступает тогда, когда химический потенциал растворенного вещества становится равным величине его химического потенциала в исходном твердом материале. Достигаемая при этом предельная концентрация раствора соответствует насыщению последнего и называется **растворимостью**. Движущей силой процессов экстракции жидкостью из твердых материалов является разность между концентрацией растворяющегося вещества у поверхности твердого тела c и его средней кон-центрацией c_v в

Обычно вблизи поверхности твердого тела равновесие устанавливается очень быстро. Поэтому **концентрация на границе твердой фазы может быть принята равной концентрации насыщенного раствора $c_{нас}$** , а движущая сила - выражена разностью

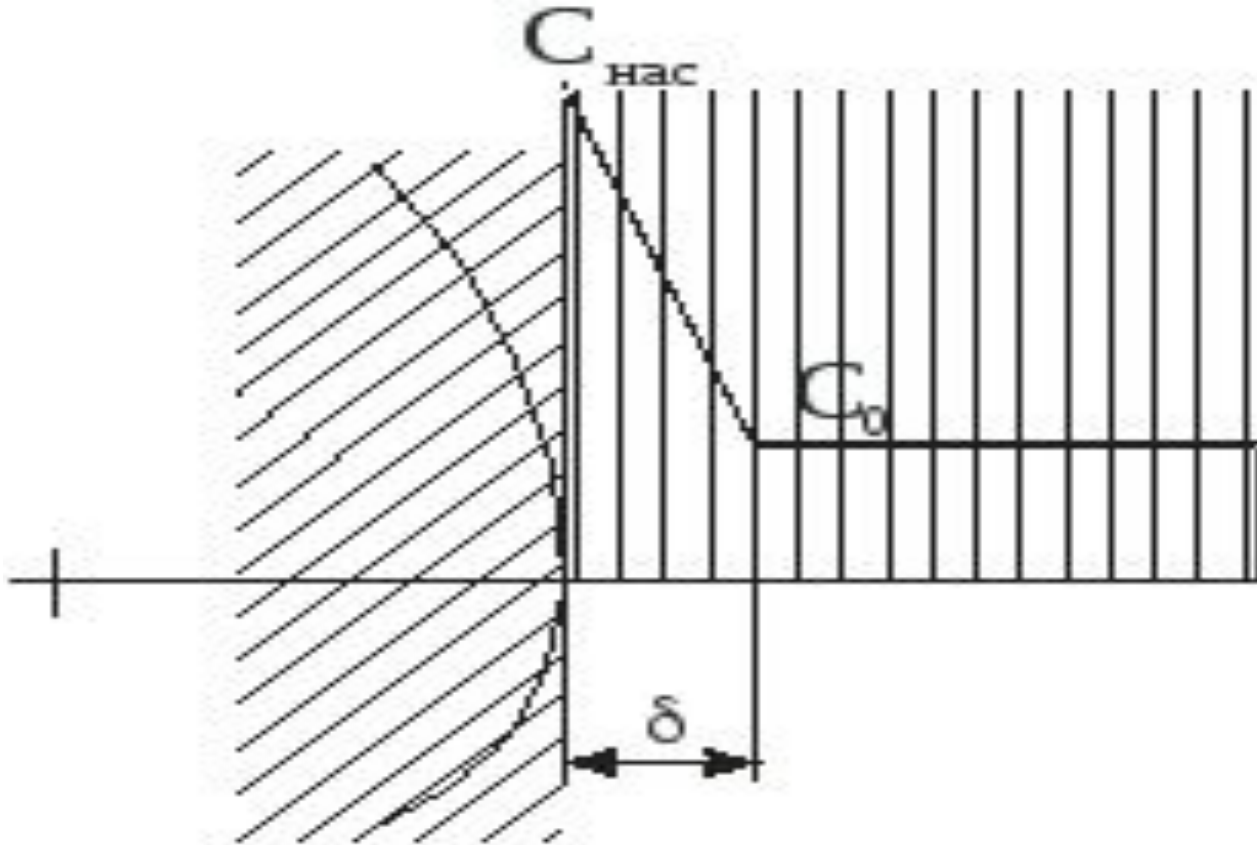
$$= c_{нас} - c_o.$$

Тогда скорость межфазного перехода равна

$$\frac{dM}{d\tau} = \beta F (c_{нас} - c_o)$$

где F - поверхность растворения твердого вещества в момент времени β - коэффициент массоотдачи в жидкой фазе

Изменение концентрации растворяющегося вещества упрощенно представлено на рис. Из него видно, что наиболее резко падение концентрации происходит в области **диффузионного пограничного подслоя толщиной δ** . Соответственно наиболее медленной и лимитирующей стадией процесса является перенос растворяющегося вещества в этом подслое путем молекулярной диффузии.



Поэтому согласно первому закону Фика:

$$\frac{dM}{d\tau} = DF \frac{C_{\text{нас}} - C_0}{\delta}$$

Сопоставляя уравнения получим, что

$$\frac{M}{\tau} = \frac{D}{\delta} F_{\text{ср}} (c_{\text{нас}} - c_0) = \beta F_{\text{ср}} (c_{\text{нас}} - c_0)$$

Следовательно, коэффициент массоотдачи пропорционален коэффициенту диффузии и обратно пропорционален толщине прилегающего пограничного слоя, которая, в свою очередь, зависит от гидродинамической обстановки вблизи растворяющихся твердых частиц. **Чем быстрее движение** жидкости **относительно твердой частицы**, тем **тоньше диффузионный пограничный слой** и тем **больше коэффициент массоотдачи**. Поэтому перемешивание жидкости, позволяющее изменить величину **массоотдачи** и равномерно распределить твердые частицы в жидкости, дает возможность существенно ускорить растворение.

Другим фактором, ускоряющим растворение и выщелачивание, является **температура**, так как с повышением ее возрастает величина $c_{\text{нас}}$ и при прочих равных условиях увеличивается движущая сила. Кроме того, **при повышении температуры возрастает значение коэффициента диффузии D** вследствие **уменьшения вязкости жидкой фазы**, что также способствует увеличению скорости процесса.

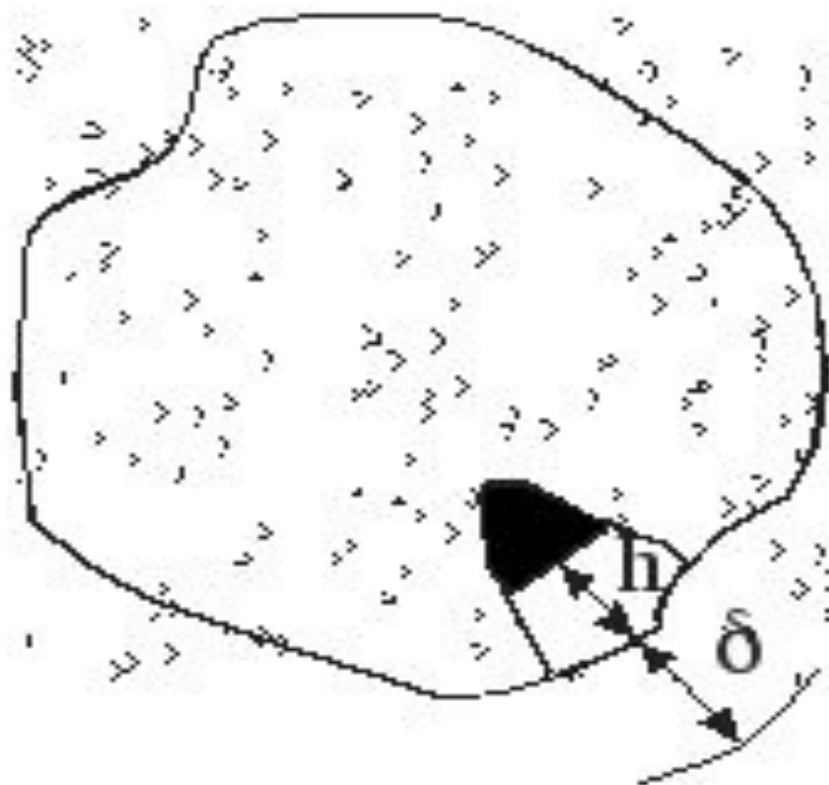
Использование **избыточных давлений** позволяет проводить выщелачивание при температурах, превышающих температуру кипения жидкости при атмосферном давлении. **Избыточное давление**, создаваемое насосом, дает возможность осуществлять процесс при значительно более высоких скоростях жидкости, обрабатывая более мелко измельченные твердые пористые материалы и преодолевая при этом возросшее гидравлическое сопротивление системы. В результате процессы выщелачивания под давлением протекают **с большей скоростью.**

Измельчение (степень измельчения) приводит к **увеличению поверхности** соприкосновения фаз, а также позволяет **сократить путь вещества, диффундирующего из глубины пор к поверхности** твердого материала. **Однако** практически степень измельчения ограничена ввиду того, что ее увеличение сопровождается **возрастанием расхода энергии** на измельчение, и является экономически целесообразным лишь до определенного предела. Степень измельчения лимитируется также необходимостью проведения **фильтрования** после процесса **выщелачивания**

В отличие от простого растворения в процессе выщелачивания, доступная для взаимодействия с жидкостью поверхность извлекаемого компонента перемещается **вглубь пор твердого** материала. Это приводит к значительному падению скорости выщелачивания, когда скорость процесса начинает лимитироваться скоростью **внутренней диффузии** из глубины куска (зерна) твёрдого материала к его поверхности.

В соответствии со схемой на рис скорость выщелачивания меньше скорости растворения и определяется по уравнению

$$\frac{dM}{d\tau} = \frac{DF}{\delta + h} (c_{нас} - c_o)$$



В связи с этим **различные факторы**, указанные выше, далеко не всегда влияют на скорость выщелачивания.

Перемешивание не может оказать существенного влияния на **скорость внутренней диффузии** при выщелачивании и поэтому дает меньший эффект, чем в процессе простого растворения.

Вместе с тем **измельчение твердого материала**, приводящее, как отмечалось, наряду с увеличением поверхности соприкосновения фаз, к **уменьшению пути растворяемого вещества при его внутренней диффузии**, является относительно более