

6.7. Ионный обмен

Гетерогенный ионный обмен (ионообменная сорбция)

Процесс обмена ионами между раствором и поверхностью твердой фазы.

Реагент, применяемый при этом (твердая фаза), называют ионитом.

Методом ионного обмена извлекают и утилизируют ценные примеси (соединения мышьяка, фосфора, а также хром, цинк, свинец, медь, ртуть, и другие металлы), ПАВ и радиоактивные вещества. Этот метод позволяет очищать природные и сточные воды до ПДК.

Классификации ионитов

По знаку заряда обменивающихся ионов:

- катиониты;
- аниониты.

По происхождению:

- природные;
- искусственные (синтетические).

Практическое значение имеют неорганические природные и искусственные алюмосиликаты, гидроокиси и соли многовалентных металлов. Также применяют иониты, полученные химической обработкой угля, целлюлозы и лигнина. Ведущая роль принадлежит синтетическим органическим ионитам - ионообменным смолам.

Классификации ионитов

По активности различают следующие виды ионитов:

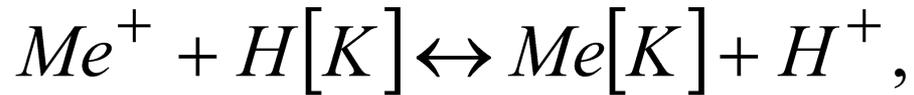
- сильнокислотные катиониты, содержащие сульфогруппы (SO_3H);
- сильноосновные аниониты, содержащие четвертичные аммониевые основания (NH_4OH);
- слабокислотные катиониты, содержащие карбоксильные ($COOH$) и фенольные (C_6H_5OH) группы, диссоциирующие при $pH > 7$;
- слабоосновные аниониты содержащие первичные (NH_2) и вторичные (NH) аминогруппы, диссоциирующие при $pH < 7$;
- иониты смешанного типа, проявляющие свойства смеси сильных и слабых кислот или оснований.

Обменная емкость

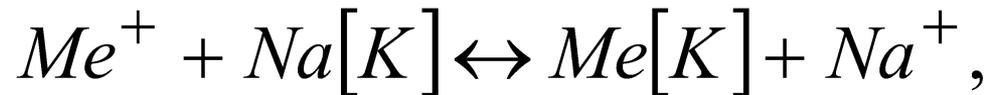
- полная емкость ионита - количество находящихся в сточной воде грамм-эквивалентов ионов, которое может поглотить 1 м³ ионита до полного насыщения;
- рабочая емкость ионита - количество находящихся в сточной воде грамм-эквивалентов ионов, которое может поглотить 1 м³ ионита до начала проскока в фильтрат поглощаемых ионов.

Реакция ионного обмена с участием катионитов

- *H*-катионирование



- *Na*-катионирование



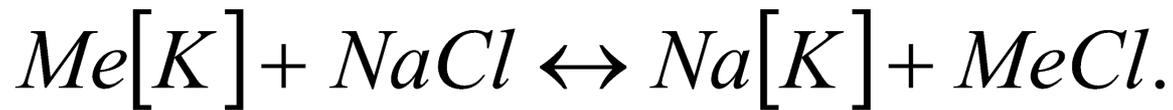
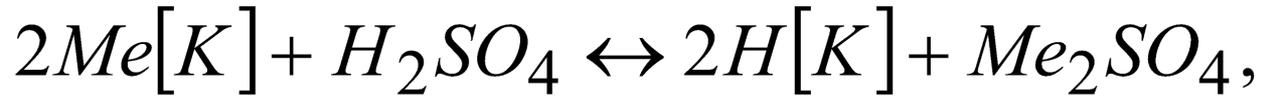
Me^+ - катион, находящийся в сточной воде; $[K]$ - сложный комплекс катионита.

Условия осуществления ионного обмена зависят от активности катионита. Сильнокислотные катиониты позволяют извлекать ионы при любых значениях pH , а слабокислотные - при $pH > 7$.

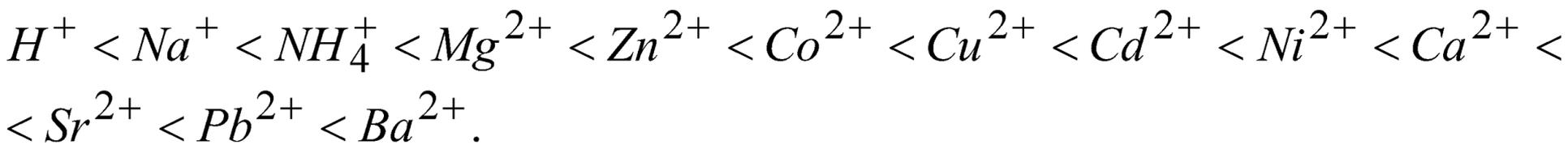
Регенерация катионитов

Осуществляется промывкой регенерирующими растворами.

Для восстановления *H*-катионитов применяют растворы кислот, а для восстановления *Na*-катионитов - растворы хлористого натрия. Регенерация происходит в соответствии со следующими схемами:

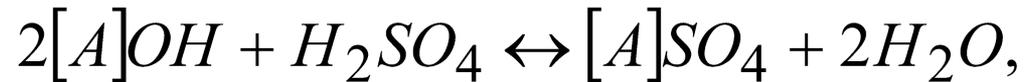


В природной и сточной воде, как правило, содержится несколько катионов. Поэтому большое значение для очистки этих вод имеет селективность поглощения ионов. Для каждого вида катионита существует ряд катионов по энергии вытеснения. Например, для катионита КУ-2 этот ряд представляет следующее:



Реакция ионного обмена с участием анионитов

Слабоосновные аниониты поглощают анионы сильных кислот, на пример



[A] - сложный органический комплекс анионита

Для большинства анионитов ряд поглощающей способности выглядит следующим образом:



Регенерация анионитов

Регенерация слабоосновных анионитов осуществляется фильтрованием через слой анионита 4 ÷ 6%-ных водных растворов $NaOH$, Na_2CO_3 или NH_4OH . К примеру, при использовании раствора гидроксида натрия восстановление ионита будет происходить по схеме



Процесс ионного обмена осуществляется в аппаратах периодического и непрерывного действия.

К аппаратам периодического действия относятся фильтры. Они представляют собой закрытый цилиндрический резервуар с расположенным у днища щелевым дренажным устройством, предназначенным для равномерного отведения воды по всему сечению фильтра. Высота слоя ионита в этих сооружениях составляет $1,5 \div 3,0$ м.

Ионообменные фильтры могут работать:

- по параллельноточной схеме, т.е. вода и регенерирующий раствор подаются сверху;
- по противоточной схеме, т.е. вода подается снизу, а регенерирующий раствор - сверху.

На продолжительность фильтроцикла существенное влияние оказывает содержание в воде взвешенных веществ. Поэтому перед подачей обрабатываемой воды на ионообменную установку следует обеспечить максимальное удаление этих веществ.

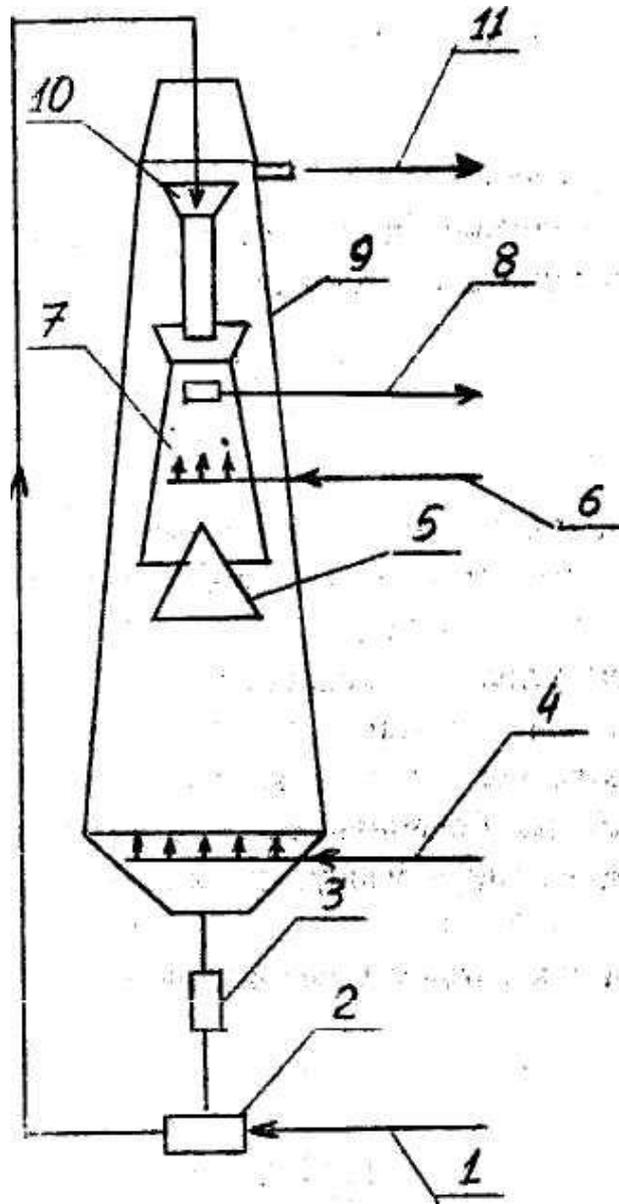
Природные и сточные воды, поступающие на ионообменные фильтры, должны удовлетворять следующим требованиям:

- содержание солей - не более 3000 мг/л;
- содержание взвешенных веществ - не более 8 мг/л;
- величина ХПК - не более 8 мг/л.

Для воды, содержащей взвешенные вещества в количествах, превышающих 8 мг/л, применяют ионообменные колонны (фильтры) с псевдоожиженным слоем ионита.

При больших расходах воды применяют ионообменные аппараты непрерывного действия.

Ионообменный аппарат непрерывного действия



1 - трубопровод подачи воды; 2 и 3 - устройства для транспортирования и отбора ионита; 4 - трубопровод подачи очищаемой воды; 5 - регулятор скорости потока воды в регенераторе; 6 - трубопровод подачи регенерирующего раствора; 7 - внутренний корпус для регенерации ионита; 8 - трубопровод выпуска послерегенерационного раствора; 9 - ионообменная колонна; 10 - воронка для приема отработанного ионита; 11 - трубопровод выпуска очищенной воды

Основы расчета

Расчет катионитовых фильтров

Объем катионита

$$V_{\text{к}} = \frac{24Q(\sum C_{\text{н}}^{\text{к}} - \sum C_{\text{к}}^{\text{к}})}{n_{\text{рг}} E_{\text{р}}^{\text{к}}},$$

Q - расход очищаемых вод, м³/ч; $\sum C_{\text{н}}^{\text{к}}$ - суммарная концентрация катионов в очищаемой сточной воде, г-экв/м³;

$\sum C_{\text{к}}^{\text{к}}$ - допустимая суммарная концентрация катионов в очищенной воде (глубина очистки), г-экв/м³; $n_{\text{рг}}$ - число

регенераций каждого фильтра в сутки, $n_{\text{рг}} \leq 2$; $E_{\text{р}}^{\text{к}}$ - рабочая обменная емкость катионита по наименее сорбируемому катиону, г-экв/м³.

Суммарная площадь катионитовых фильтров

$$F_{\text{к}} = Q / v$$

$$F_{\text{к}} = V_{\text{к}} / H_{\text{к}},$$

v - скорость фильтрования, м/ч; $H_{\text{к}}$ - высота слоя катионита, м.

Количество фильтров и высота слоя ионита определяются исходя из условий размещения их в помещении станции.

Потери напора в катионитовых фильтрах зависят от скорости фильтрования, высоты слоя загрузки и размера зерен ионита. Регенерация этих фильтров производится 7 ÷ 10%-ными растворами серной или соляной кислот. Последующая отмывка ионита осуществляется ионированной водой.

Основные расчетные характеристики

- Скорость фильтрования - $8 \div 20$ м/ч;
- Высота слоя катионита - $2 \div 3$ м;
- Потери напора в катионитовых фильтрах - $4 \div 10$ м;
- Скорость протока регенерационных растворов - не более 2 м/ч;
- Скоростью протока ионированной воды при отмывке ионита после регенерации - $6 \div 8$ м/ч;
- Удельный расход ионированной воды - $2,5 \div 3,0$ м³ на 1 м³ загрузки фильтра.

Расчет анионитовых фильтров

Объем анионита

$$V_a = \frac{24Q(\sum C_H^a - \sum C_K^a)}{n_{p\Gamma} E_p^a},$$

$\sum C_H^a$ - суммарная концентрация анионов в обрабатываемой воде, г-экв/м³; $\sum C_K^a$ - допустимая суммарная концентрация анионов в очищенной сточной воде, г-экв/м³; E_p^a - рабочая обменная емкость анионита, г-экв/м³.

Площадь фильтров

$$F_a = \frac{24Q}{n_{p\Gamma} t\nu},$$

t - продолжительность работы каждого фильтра между регенерациями, ч.

Расчет ионообменных колонн с псевдооживленным слоем ионита

Суммарная площадь сечения ионообменных КОЛОНН

$$F_{\text{общ}} = \frac{Q}{v_{\text{опт}}},$$

Q - расход сточных вод, м³/ч; $v_{\text{опт}}$ - оптимальная скорость фильтрования через псевдоожиженный слой ионита, м³/(м² · ч).

Требуемое количество воздушно-сухого ионита

$$M_{\text{ч}} = \frac{Q(C_{\text{н}} - C_{\text{к}})}{E_{\text{д}}},$$

$C_{\text{н}}$ - исходная концентрация ионов одного знака в очищаемой сточной воде, кг-экв/м³; $C_{\text{к}}$ - концентрация ионов одного знака в очищенной сточной воде, кг-экв/м³; $E_{\text{д}}$ - динамическая обменная емкость ионита, кг-экв/т.

Общее количество ионита в колоннах

$$M_{\text{общ}} = M_{\text{ч}} t,$$

t - продолжительность рабочего цикла ионообменной колонны между двумя регенерациями, ч.

Объем загрузки ионообменных колонн до образования псевдооживленного слоя ионита

$$V_1 = \frac{M_{\text{общ}}}{\rho_{\text{н}}},$$

$\rho_{\text{н}}$ - насыпная плотность ионита, т/м³.

Высота набухшего слоя ионита до псевдооживления составит

$$H_1 = \frac{V_1}{F_{\text{общ}}}.$$

Оптимальное отношение высоты
псевдооживленного слоя ионита к высоте
неподвижного слоя

$$H_2 / H_1 = 1,5.$$

Высота псевдооживленного слоя ионита

$$H_2 = \frac{1,5V_1}{F_{\text{общ}}},$$

Число колонн

$$n_{\text{к}} = \frac{4F_{\text{общ}}}{\pi D_{\text{к}}^2},$$

$D_{\text{к}}$ - диаметр ионообменной колонны, м.