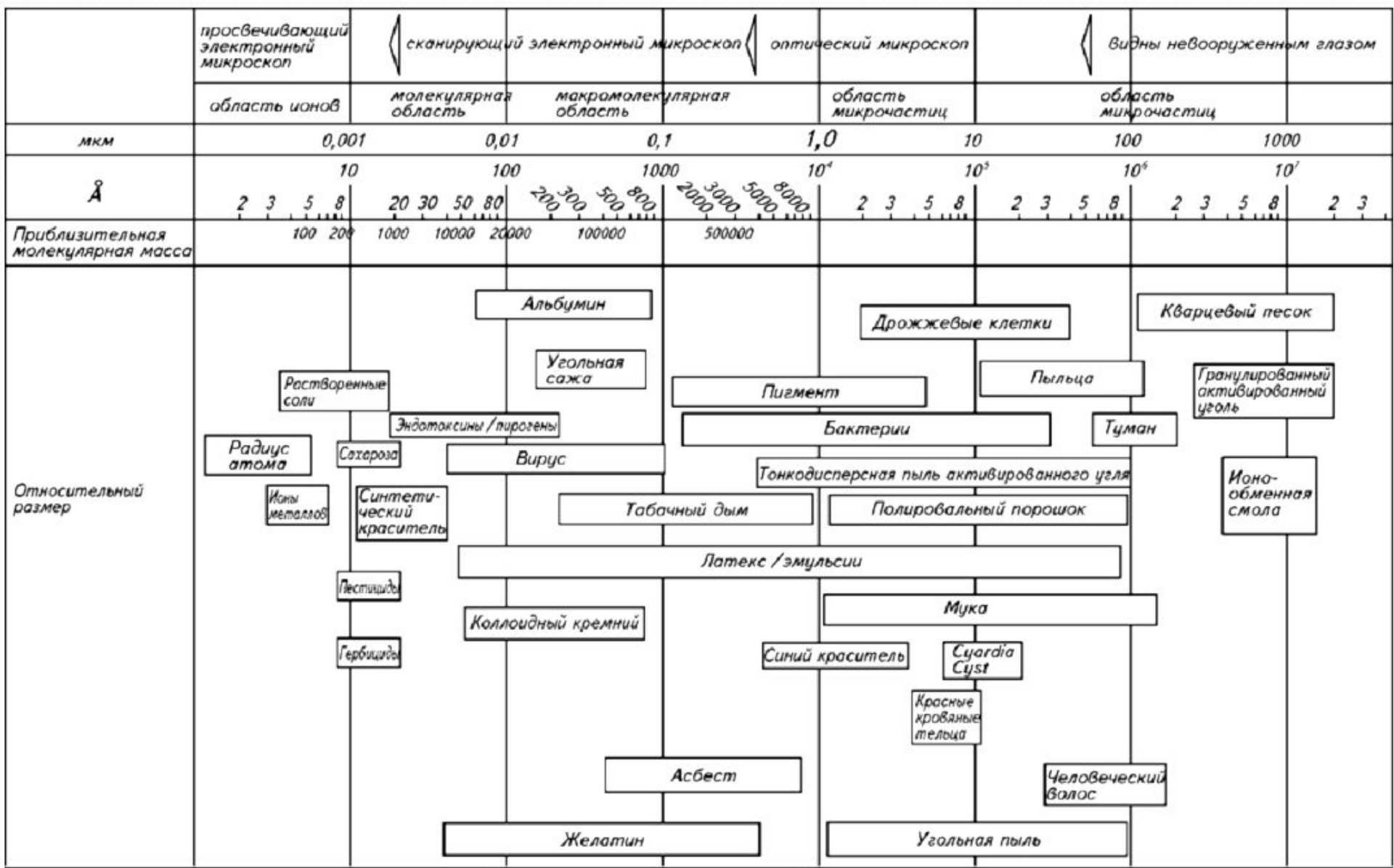


Очистка воды методом ионного обмена

Общие сведения об ионном обмене

(19.10.2011)



Ионный обмен

Очистка воды, путем изменением ее ионного состава, вплоть до полного удаления растворенных примесей.

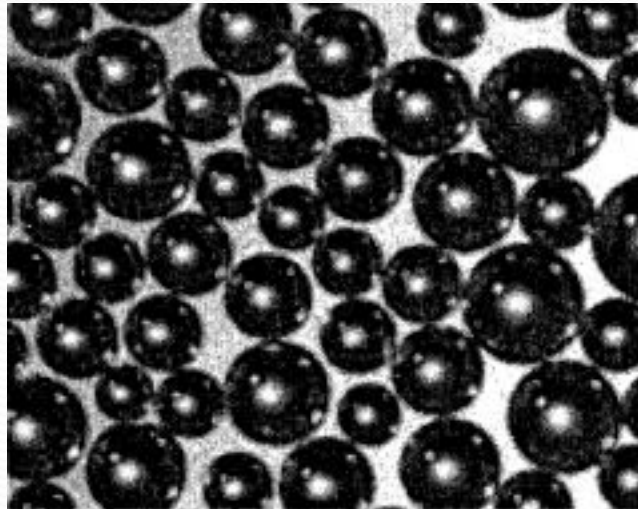
Таким образом ионный обмен – удаление из воды ионизированных истинно-растворенных частиц

Ионный обмен

Способность специальных материалов (ионитов) изменять в желаемом направлении ионный состав обрабатываемой воды

Иониты

Представляют собой нерастворимые высокомолекулярные вещества, которые благодаря наличию в них специальных функциональных групп способны к реакциям ионного обмена

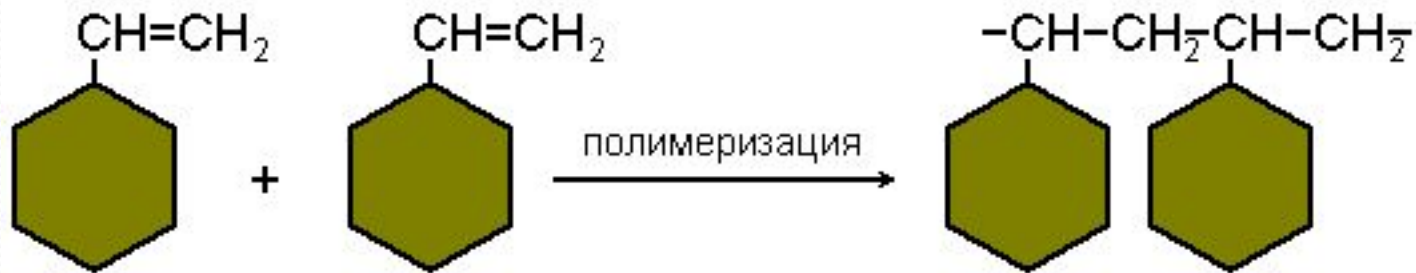


Получение ионитов: матрица

1. Сополимеризация стирола и дивинилбензола

Без дивинилбензола:

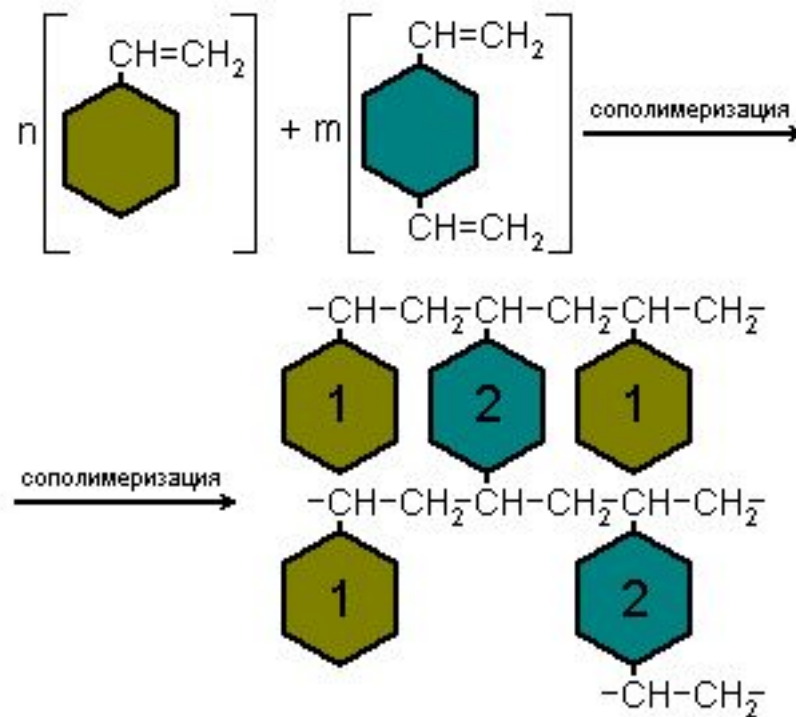
практически нерастворимые полистирольные
СМОЛЫ:



Получение ионитов: матрица

1. Сополимеризация стирола и дивинилбензола

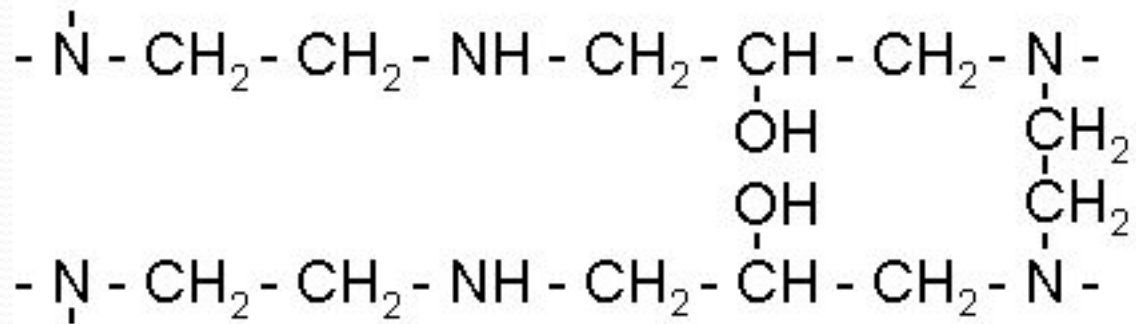
В присутствии дивинилбензола:



Получение ионитов: матрица

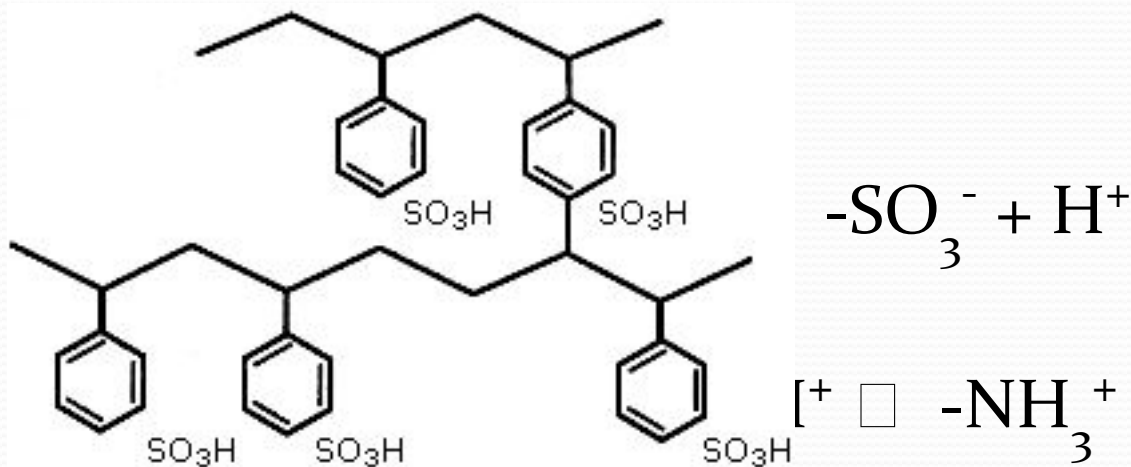
2. Поликонденсация

АН-31: поликонденсация эпихлоргидрина и
полиэтиленполиамина в присутствии аммиака

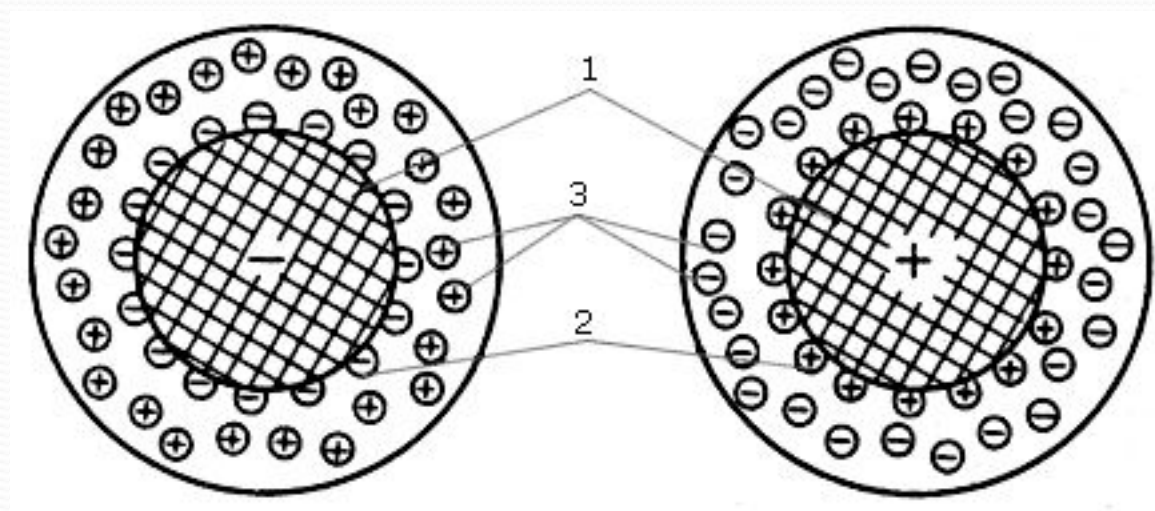


Получение ионитов: функциональные группы

Полученную матрицу обрабатывают химическими реагентами (например, серной кислотой) для замещения в бензольных кольцах ионов водорода на специальные функциональные группы, которые способны к диссоциации в растворах:

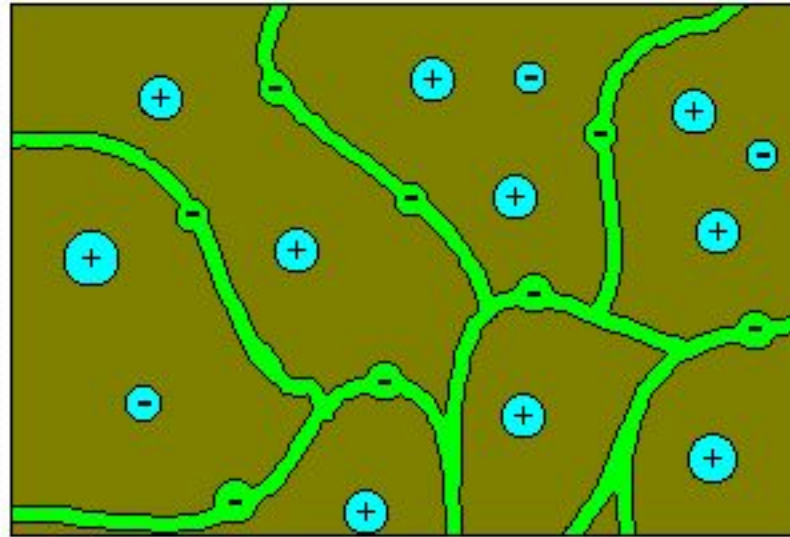


Структура элемента ионита



1 – матрица; 2 – потенциалообразующие фиксированные ионы; 3 – ионы диффузного слоя (противоионы)

Структура элемента ионита



Матрица с фиксированными ионами



Противоионы



Коионы

Обозначения

- RNa:

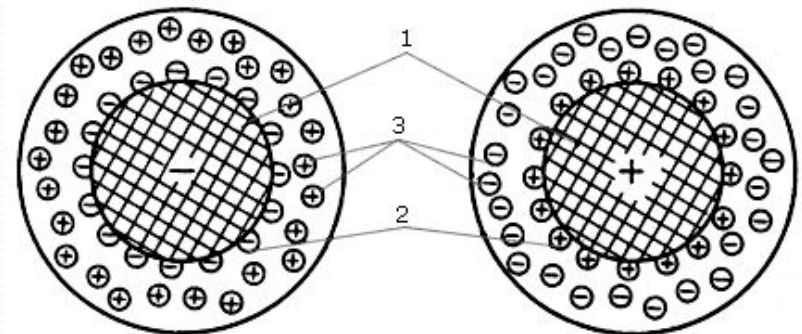
R^- – матрица с фиксированным ионом

Na^+ – обменный ион (противоион)

- ROH:

R^+ – матрица с фиксированным ионом

OH^- – обменный ион (противоион)



Типы ионитов

- Катиониты

обмен положительно заряженными частицами

RNa, RH

- Аниониты

обмен отрицательно заряженными частицами

RCI, ROH

Функциональные группы

- Катиониты

- остаток серной кислоты – сульфогруппа:

- SO_3H (сильнокислотная)

- карбоксильная группа:

- COOH (слабокислотная)

Функциональные группы

● Аниониты

● аминогруппа:

- NH₂ (слабоосновная/низкоосновная)

● иминогруппа:

- NH (слабоосновная/низкоосновная)

● группы четырехзамещенного аммониевого основания:

- NR₃OH (сильноосновная/высокоосновная)

где R – CH₃, C₂H₅ и т.д.

Реакции ионного обмена

- Катионирование



- Анионирование





Анимация ионного обмена

Характеристики реакций ионного обмена

- **Эквивалентность обмена ионов:** сколько «зарядов» ионов задержали, столько же «зарядов» отдали в воду
- **Обратимость:** возможность направления реакции в обратную сторону, т.е. регенерация дорогостоящего ионита
- **Селективность:** преимущественная адсорбция одних ионов по сравнению с другими

Эквивалентность обмена ИОНОВ

Понижение концентрации какого-либо иона в растворе в результате его удержания ионитом сопровождается эквивалентным повышением концентрации другого иона, поступающего в раствор из ионита, что является следствием закона электронейтральности. Использование этой закономерности позволяет рассчитывать массовые концентрации примесей в системе "ионит - раствор".

Обратимость обмена ионов

- Позволяет многократно использовать дорогостоящие иониты в технологии обработки воды:



После замены катионов Na^{+} в катионите ионами Ca^{2+} (прямая реакция) осуществляют обратный процесс – регенерацию, приводящую к восстановлению способности катионита извлекать из обрабатываемой воды ионы Ca^{2+} .

Преимущественная адсорбция (селективность)

Причина – различие в величине Кулоновских сил, действующих между матрицей с фиксированным ионом и противоионами в растворе

Факторы:

- величина заряда
- **эффективное** расстояние между зарядами: радиус самого иона и количество молекул воды ($r_{\text{H}_2\text{O}} = 0.276 \text{ нм}$) вокруг ионов (гидратация)

Заряд иона

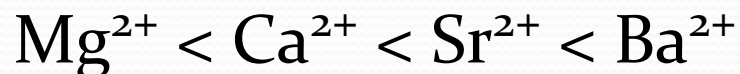
- Возрастание заряда – увеличение величины Кулоновских сил



Радиусы и гидратация ионов щелочноземельных металлов

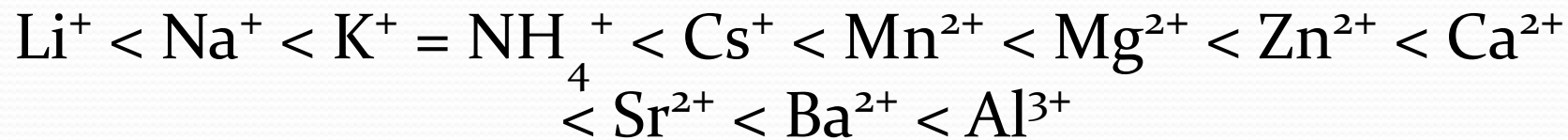
Показатель	Ионы			
	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Sr ²⁺	Ba ²⁺
Радиус иона, 10 ¹⁰ м	0.78	1.06	1.27	1.43
Число молекул H ₂ O, гидратирующих ион (по Реми)	14	10 - 12	8	4

Селективность:



Основной ряд селективности

- Катионирование



- Анионирование



Коэффициент селективности

СЕЛЕКТИВНОСТИ

- количественная мера селективности:

$$T_{A/B} = \frac{q_A / C_A}{q_B / C_B} = \frac{q_A \cdot C_B}{q_B \cdot C_A}$$

где q и C – эквивалентные концентрации обменивающихся ионов A и B в ионите и в растворе

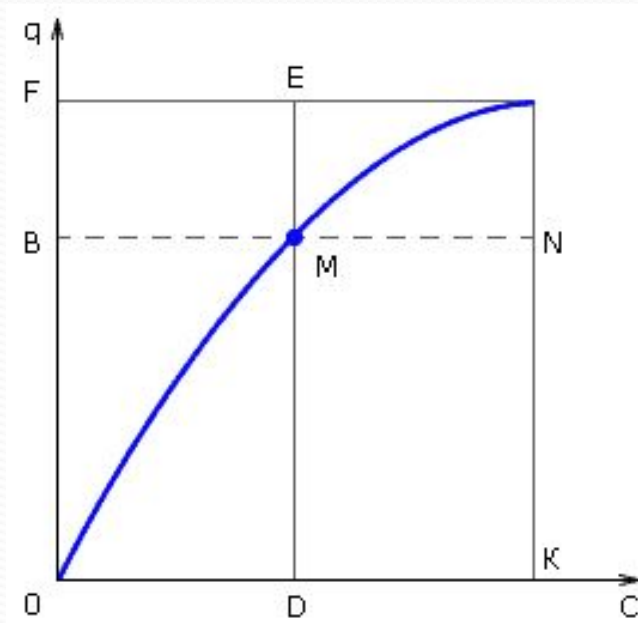
Коэффициент селективности зависит от:

- типа ионита
- концентрации ионов
- природы адсорбируемых ионов
- температуры

Определение коэффициента селективности

селективности

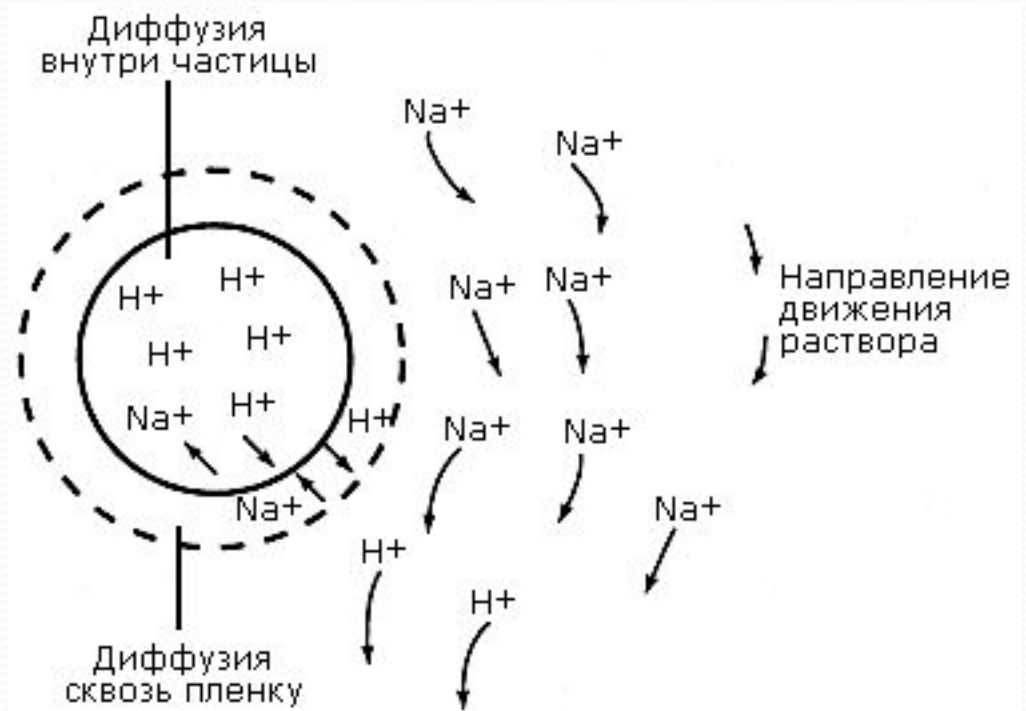
- по изотерме адсорбции



ось абсцисс – относительная концентрация примесей А и В в растворе

ось ординат – относительная концентрация примесей А и В в ионите

Скорость ионного обмена



Процессы:

- диффузия ионов внутри зерна
- диффузия в пленке

Определяющий (медленный) процесс

- высокие концентрации ионов в растворе (более 0,2 мг-экв/л) – *внутридиффузионная кинетика* (диффузия ионов внутри зерна)
- низкие концентрации ионов в растворе (природные воды с солесодержанием менее 1 г/л) – *внешнедиффузионная кинетика* (диффузия в пленке)

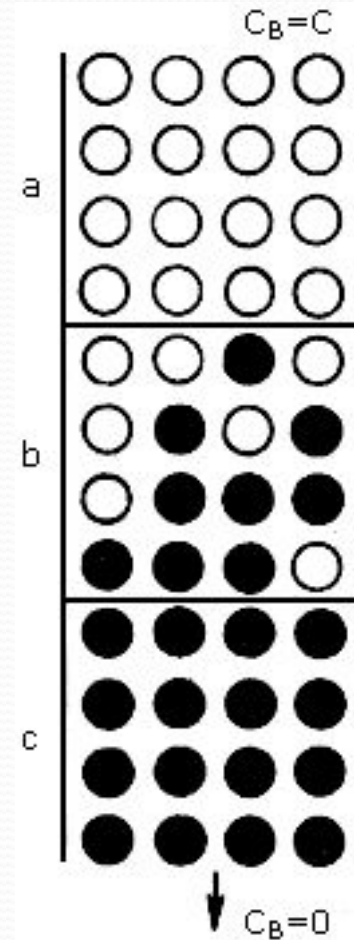
Фронт фильтрования

а – истощенный ионит

б – зона ионного обмена

(фронт фильтрования)

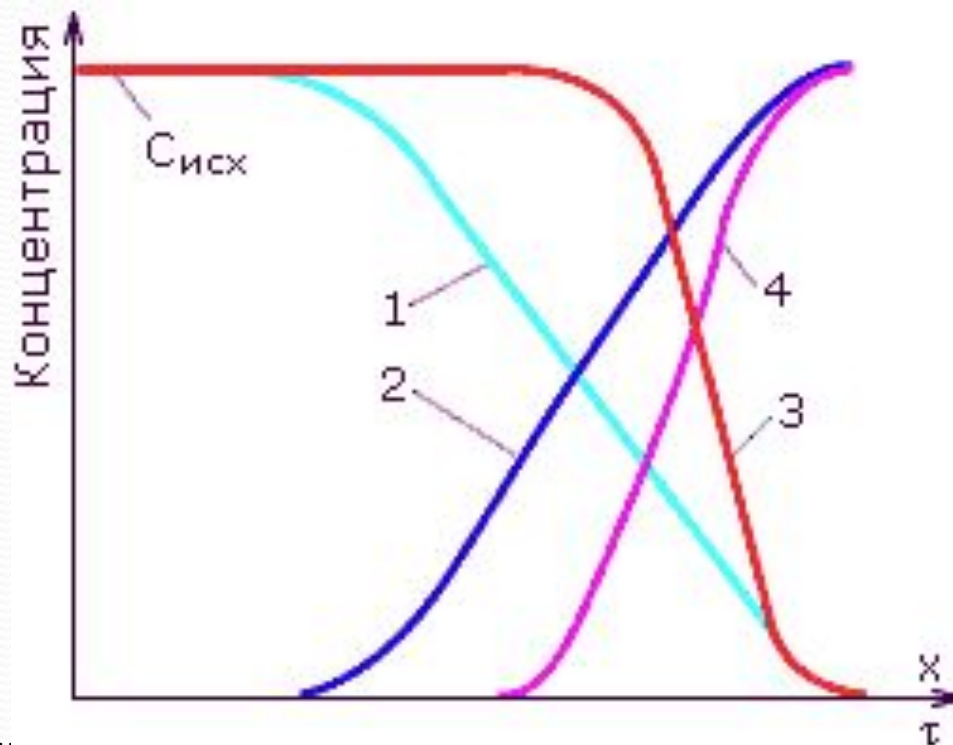
с – свежий ионит



Типы фронтов фильтрации

- Острый (переносится параллельно).
Адсорбируемый ион обладает большей селективностью, чем тот, который есть на ионите
- Размытый (диффузный)
Адсорбируемый ион обладает меньшей или равной селективностью, чем тот, который есть на ионите

Фронт фильтрации и выходная кривая фильтрации



1 – диффузный слой фильтрации; 2 – выходная кривая при диффузном фронте; 3 – острый фронт фильтрации; 4 – выходная кривая при остром фронте; x – высота слоя ионита; t – время работы фильтра

Ионный обмен

Технологические свойства ионитов

Физические свойства

- гранулометрический состав (размер зерен)
- насыпная масса
- механическая прочность
- структура ионита
- степень набухания в водных растворах

Гранулометрический состав

- Крупность зерен промышленных ионитов находится в пределах от 0,3 до 1,5 мм
- До 80% объема ионитов представлено зернами диаметром от 0,5 до 1,0 мм
- *Гранулометрический состав* определяет отсутствие выноса мелких фракций при взрыхляющей промывке
- Влияет на скорость ионного обмена
- Влияет на перепад давлений на ионитном фильтре

Насыпная масса ионита

- Различают в воздушно-сухом (g_C) состоянии и во влажном (g_B) состоянии
- Степень набухания:

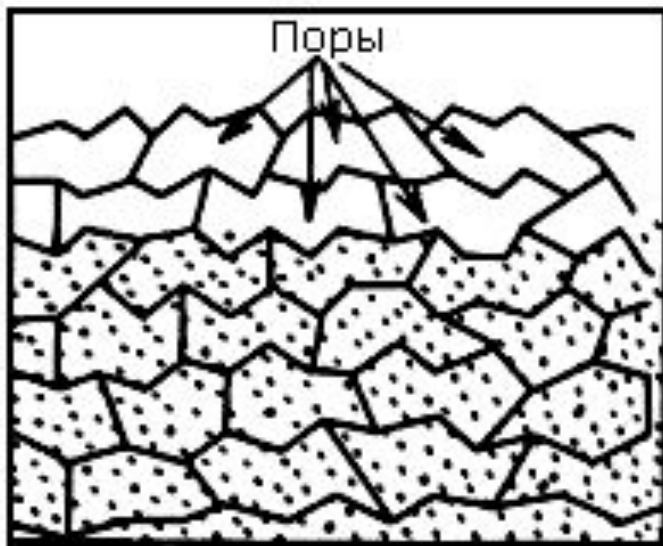
$$k_H = g_C / g_B$$

Для промышленных ионитов степень набухания
от 1.1 до 1.9

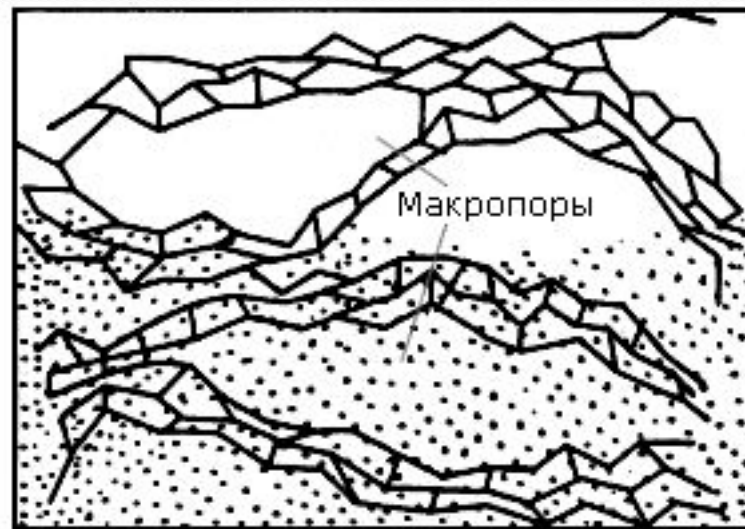
Механическая прочность и осмотическая стабильность

- Влияет на потери ионита в течение нескольких лет его эксплуатации. Годовой износ отечественных ионитов, используемых в различных установках для очистки природных вод и конденсатов, колеблется от 10 до 35%

Макропористые иониты



гелевый



макропористый

Химические свойства

- химическая стойкость
- сила кислотности (для катионитов) или основности (для анионитов)
- полная и рабочие обменные емкости
- удельный расход реагентов и отмывочной воды при заданной глубине удаления из воды поглощаемых ионов
- термическая и радиационная стойкость

Сила кислотности

- Сильнокислотные катиониты (например, КУ-2-8) осуществляют обмен ионов практически при любых значениях рН среды.
- Слабокислотные функциональные группы в кислой среде практически остаются в недиссоциированном состоянии, их применяют при $\text{pH} \gg 7$

Сила основности

- Сильноосновные (высокоосновные) аниониты вступают в обменные реакции с анионами как сильных, так и слабых кислот в широкой области значений pH
- Слабоосновные (низкоосновные) аниониты работоспособны лишь в кислых средах и могут осуществлять ионный обмен только с анионами сильных кислот (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-).

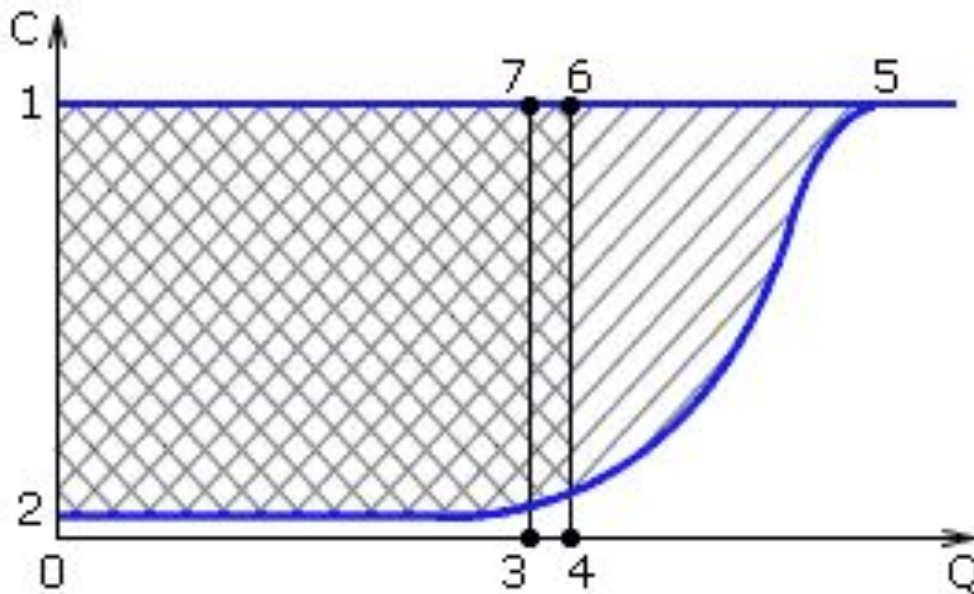
Полная обменная емкость

- Полная обменная емкость – количество функциональных групп, привитых к иониту

Тип ионита	E_n , г-экв/м ³
Сильнокислотный катионит с 8% ДВБ гелевого типа	1800
Слабокислотный катионит гелевого типа	3500
Сульфоуголь	500
Сильноосновной анионит:	
тип 1	1000
тип 2	1300
Слабоосновной анионит	2600

Рабочая обменная емкость

- Количество групп, эффективно участвующих в ионном обмене



$$E_p = \frac{(C_{\text{ион}} - C_{\text{ф}}) \cdot Q}{f \cdot h}$$

Рабочие обменные емкости

Примерные значения рабочих обменных емкостей ионитов

Ионит	Страна изготовитель	при Н-катионировании	при Na-катионировании	при OH-катионировании	
				по Cl ⁻	по SiO ₃ ²⁻
Катиониты:					
Сульфоуголь	Россия	250	400	-	-
КУ-2-8	Россия	800	800	-	-
КБ-4	Россия	1300	1500	-	-
амберлайт IR-120	США	800	800	-	-
леватит 5100	ФРГ	800	850	-	-
Аниониты:					
АН-31	Россия	-	-	1050	-
АВ-17	Россия	-	-	700	420
амберлайт IRA-400	США	-	-	800	400
леватит М-600	ФРГ	-	-	750	400

Термическая и радиационная устойчивость

- Разрушение матрицы ионита или отщепление функциональных групп от каркаса ионита, что приводит к потере обменной емкости и загрязнению фильтрата продуктами разложения ионитов.

Температурный предел длительного использования:
для катионита КУ-2-8 - 100°C, для анионита АВ-17 -
40°C.

Органопоглощение

Аниониты подвергаются постепенному необратимому загрязнению **органикой** с большой молекулярной массой, что приводит:

- к снижению рабочей обменной емкости анионитов
- увеличению расхода реагентов
- увеличение расхода воды на собственные нужды
- увеличение солесодержания обессоленной воды

Механизмы органопоглощения

- Электростатическое взаимодействие
- Межмолекулярное притяжение (силы Ван-дер-Ваальса)

Электростатическое взаимодействие

Аналогично тому взаимодействию, что происходит при обычном ионном обмене

Межмолекулярное притяжение

- Происходит между ароматическими циклами, входящими в состав структуры анионита и молекулы органических загрязнений

Различие на основе химического типа матрица анионита:

- на основе стирола – **гидрофобные** свойства
- на основе акрила – **гидрофильные** свойства

Для последнего – прослойка воды снижает межмолекулярные силы, что приводит к большему возможному загрязнению органикой

Пределная органопоглощающая способность анионитов

- сильноосновный анионит гелевого типа
(полистирол): $0,25 \text{ г} \cdot \text{О}_2 / \text{дм}^3$
- сильноосновный анионит макропористого типа:
(полистирол): $1,0 \text{ г} \cdot \text{О}_2 / \text{дм}^3$
- слабоосновный анионит гелевого типа
(полиакрил): $6,0 \text{ г} \cdot \text{О}_2 / \text{дм}^3$

Ионный обмен

Технологии ионного обмена

(02.11.2011)

Два типа процессов ионного обмена

- катионирование (~~удаление~~ замена положительно заряженных ионов)
- анионирование (~~удаление~~ замена отрицательно заряженных ионов)

Катионирование

Процессы:

- H-катионирование
- Na-катионирование

Аппараты:

- H-катионитный фильтр
- Na-катионитный фильтр

Фильтрат:

- H-катионированная вода
- Na-катионированная вода

Анионирование

Процессы:

- ОН-анионирование

Аппараты:

- ОН-анионитный фильтр

Фильтрат:

- ОН-анионированная вода

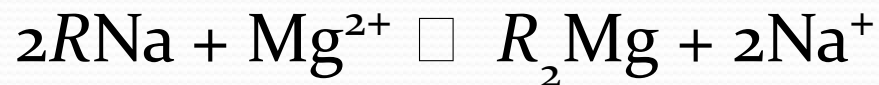
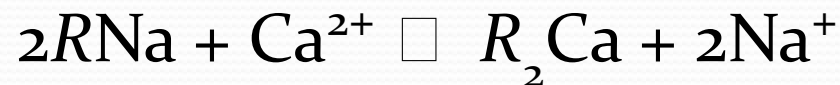
Типы обработок воды

- Na-катионирование
- H-катионирование и OH-анионирование
- H-Na-катионирование

Na-катионирование

Умягчение воды (снижение содержания Ca^{2+} , Mg^{2+})

Реакции:

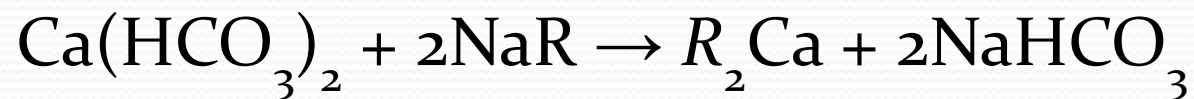


Остаточная жесткость:

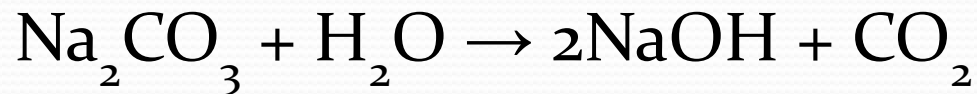
5 - 10 мкг-экв/дм³

Na-катионирование

Анионный состав: без изменений



В котле при более высоких температурах:



что может вызвать щелочную коррозию

Недостатки Na-катионирования

- Щелочность (HCO_3^- , CO_3^{2-}) не снижается
- Увеличение массового солесодержания:

$$M_{\text{э}}^{\text{Na}} = 23 \text{ г/г-ЭКВ}$$

$$M_{\text{э}}^{\text{Ca}} = 20 \text{ г/г-ЭКВ}$$

$$M_{\text{э}}^{\text{Mg}} = 12 \text{ г/г-ЭКВ}$$

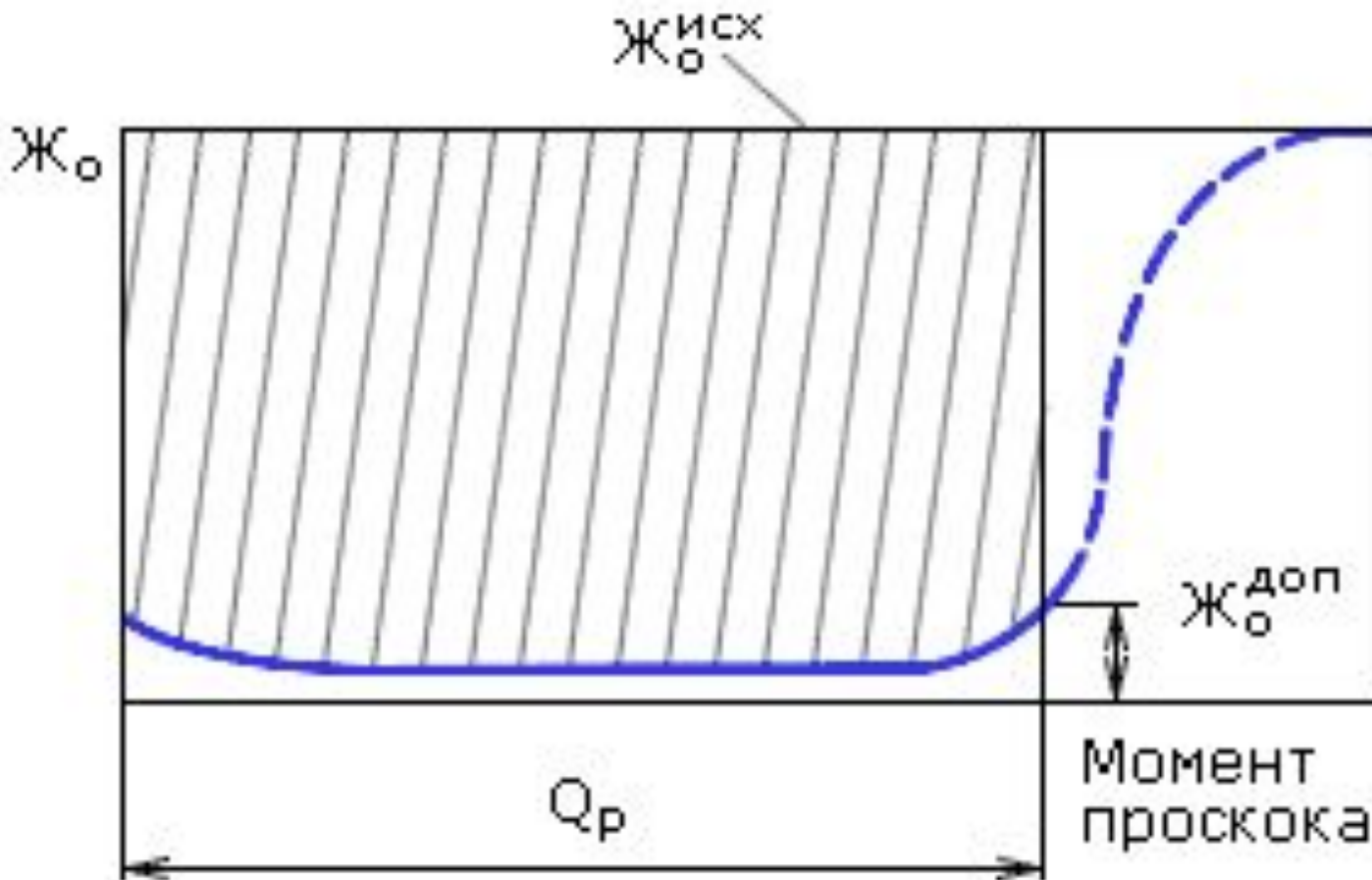
Ионный обмен:

$$1 \text{ г-ЭКВ Na} = 1 \text{ г-ЭКВ Ca} = 1 \text{ г-ЭКВ Mg}$$

Применение Na-катионирования

- подпитка теплосети
- добавочная вода для котлов низкого и среднего давлений при сравнительно низкой щелочности исходной воды

Выходная кривая жесткости при Na-катионировании



Регенерация катионита при Na-катионировании

- 6-10% NaCl



где n – избыток ионов Na^+ по сравнению со
стехиометрическим

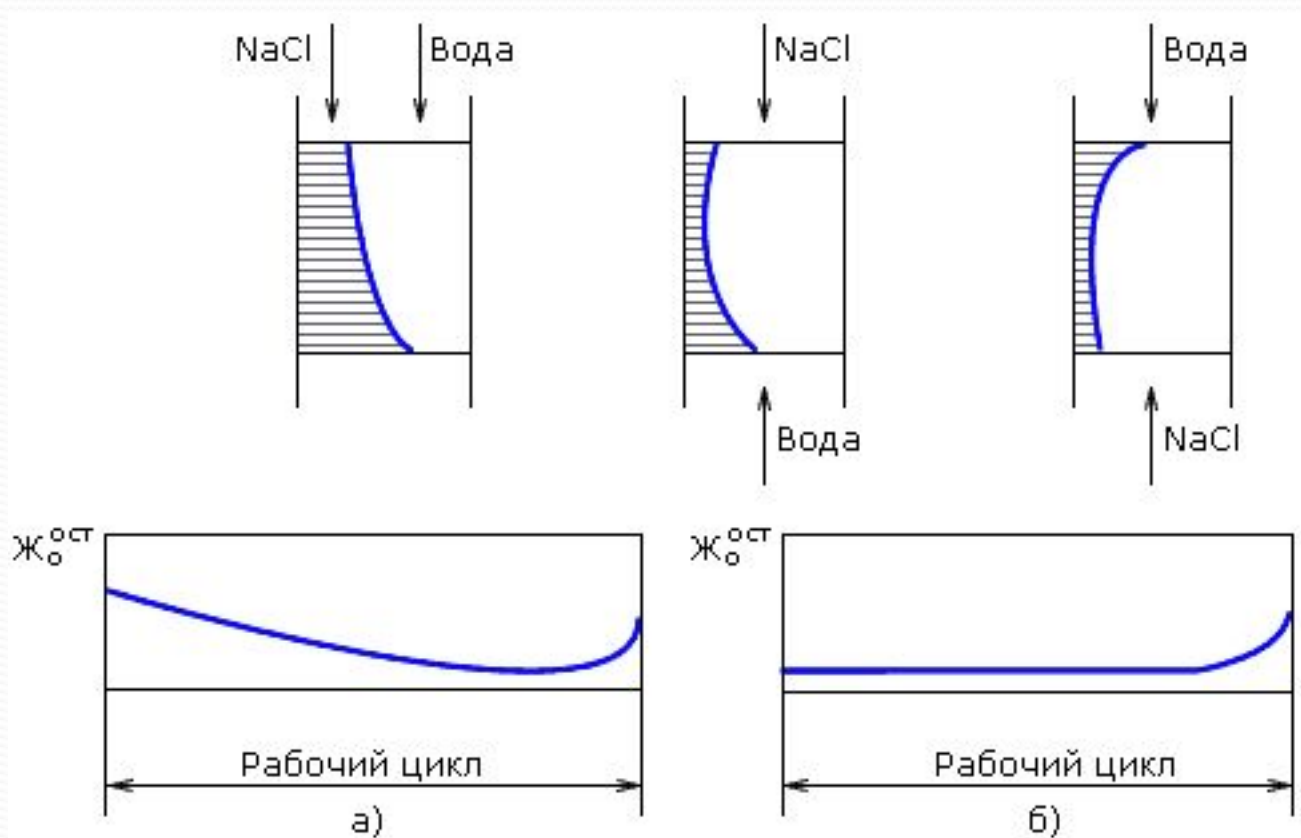
Влияние расхода NaCl на регенерацию



Регенерация на практике

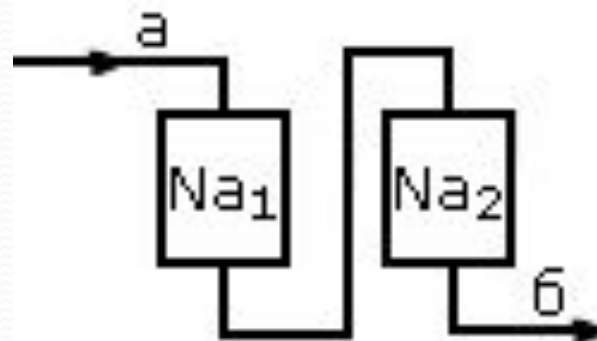
- $n = 2.4 \text{ г-экв Na}^+ / \text{г-экв Ca}^+, \text{Mg}^+ = 140 \text{ г NaCl} / \text{г-экв}$
- на 1 задержанный г-экв Ca^+, Mg^+ в сточных водах:
 - 1,4 г-экв Na^+
 - 2,4 г-экв Cl^-
- скорость: 4–6 м/ч

Типы регенераций



Двухступенчатое Na-катионирование

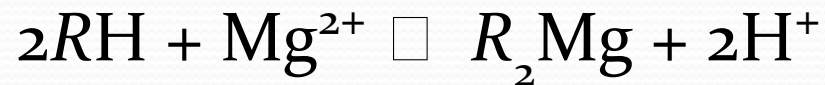
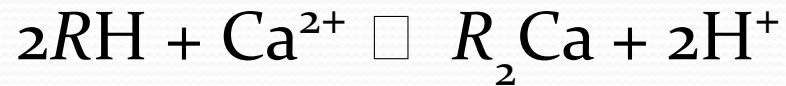
- $n_1 = 1.8 - 2.4$ Г-ЭКВ/Г-ЭКВ
- $n_2 = 6-7$ Г-ЭКВ/Г-ЭКВ
- $Жост_1 = 0,1$ мг-ЭКВ/дм³
- $Жост_2 = 0,05-0,01$ мг-ЭКВ/дм³



H-катионирование

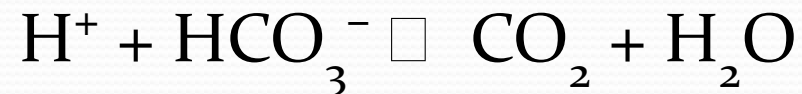
Удаление всех катионов из воды

Реакции:



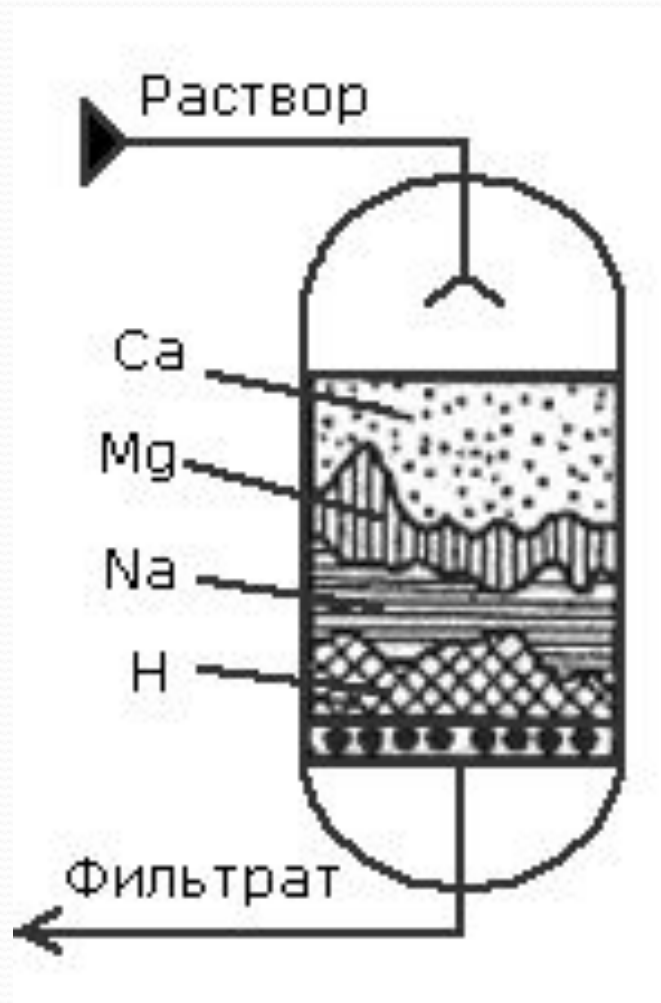
H-катионирование

Анионный состав: снижение содержания анионов слабых кислот:



$$C_{\text{H}}^+ = (\Sigma A_{\text{H}} - C_{\text{HCO}_3^-})_{\text{исх}} = (C_{\text{SO}_4^{2-}} + C_{\text{Cl}^-})_{\text{исх}}$$

Распределение ионов по высоте

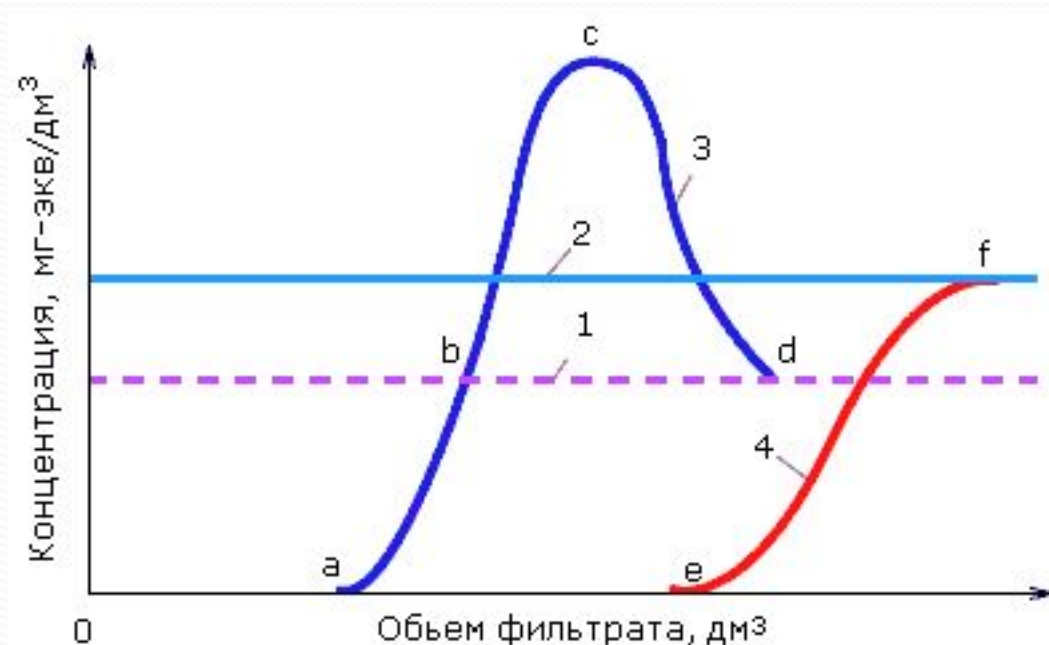


Изменение качества Н-кат. воды

ВОДЫ

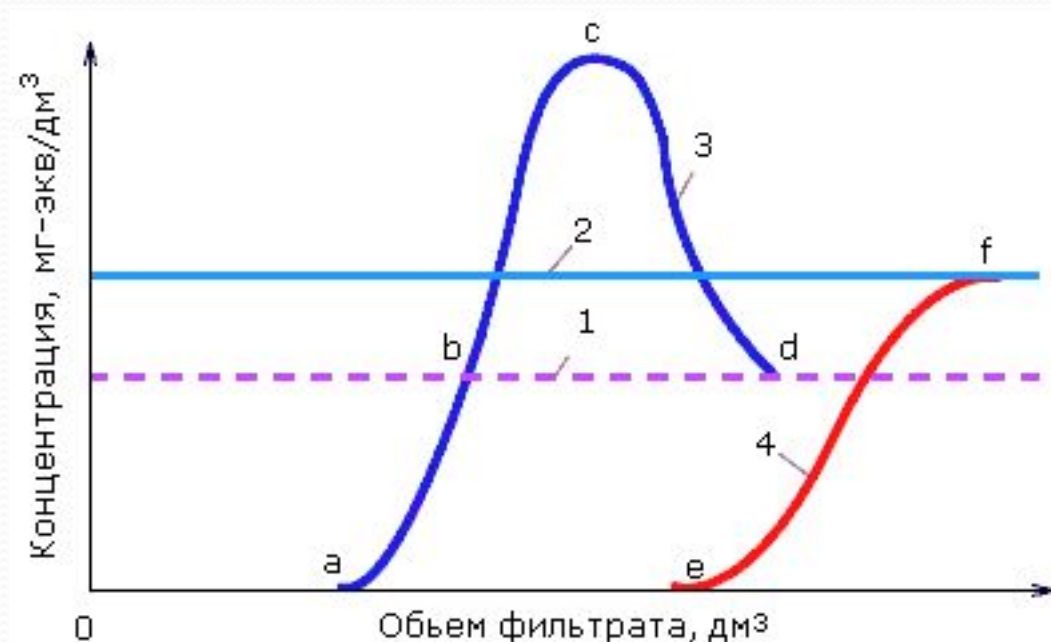
при работе Н-кат. фильтра

- Полное поглощение всех катионов
- «а» – проскок Na^+
- «е» – проскок жесткости
- b, d – конц. Na^+ _{исх}
- f – Ж_о_{исх}



Режимы работы Н-кат. фильтра

- до точки «а» – обессоливание
- до точки «е» – умягчение



Регенерация Н-кат. фильтров

Любой сильной кислотой (создание высокой концентрации H^+)

- H_2SO_4
- HCl
- HNO_3

Реакции при регенерации Н-кат. фильтров



Регенерация с

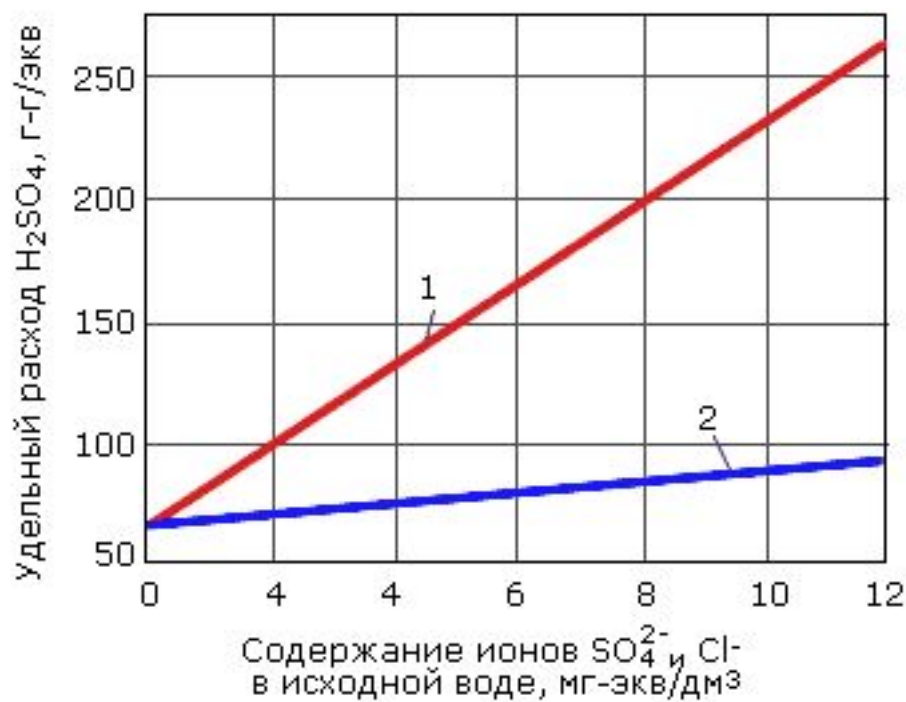
использованием H_2SO_4

- + недорогой реагент
- + концентрированная H_2SO_4
некоррозионноактивна
- – может быть загипсовывание:
 $Ca^{2+} + SO_4^{2-} \rightarrow CaSO_4$

Мероприятия:

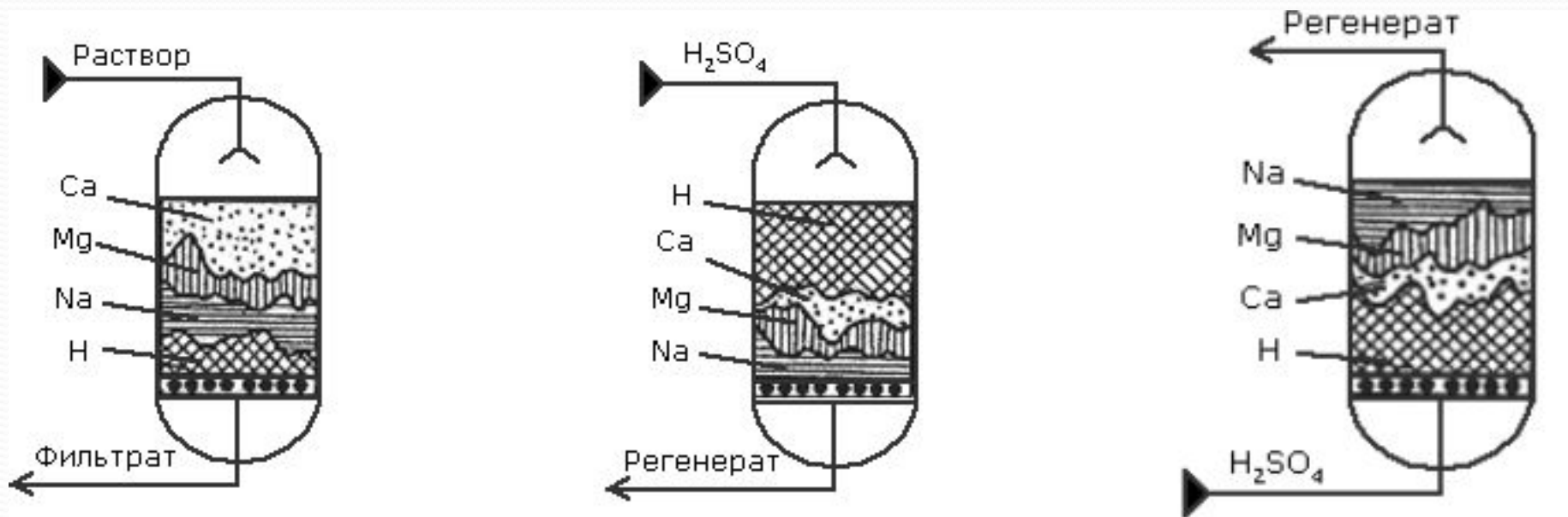
- концентрация регенерационного раствора 1,0–1,5%
- скорость подачи регенерационного раствора – не менее 10 м/ч (для 1,5% раствора)

Удельный расход H_2SO_4



1 – параллельный ток; 2 – противоток

Виды регенераций



Противоточная регенерация

1. фильтры с верхним вводом обрабатываемой воды при блокировке слоя ионита от расширения при регенерации подачей сверху воды или части регенерационного раствора (ФИПр, ФИПР-2П)
2. фильтры с очисткой воды в направлении снизу вверх, а регенерационного раствора сверху вниз (типа Амберпак)
3. фильтры с подачей воды сверху вниз, а регенерационного раствора снизу вверх (типа Апкоре).

Отечественные ФИПр, ФИПр-2П

- сокращение количества фильтров в 2 – 2,5 раза
- сокращение расхода воды на собственные нужды в 2 – 3 раза
- сокращение расхода реагентов на 20 – 30%
- сокращение объема загружаемых в фильтры ионитов в 1,8 раза

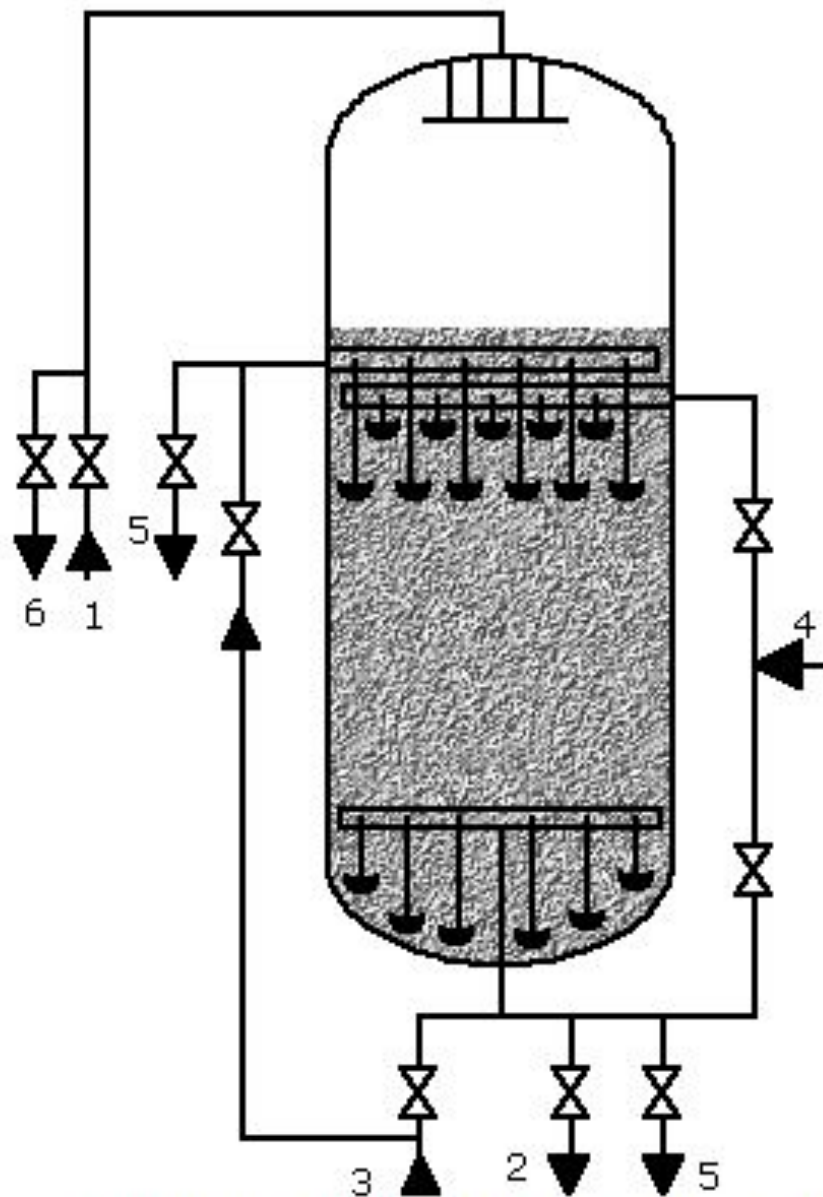
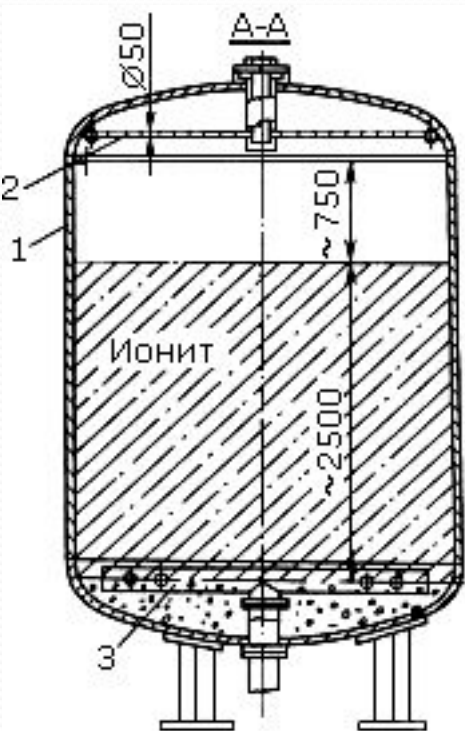
Результаты перехода на противоточные фильтры

Показатели	Водоподготовительная установка	
	до реконструкции	после реконструкции
Среднеуральская ГРЭС		
Схема обессоливающей установки	$H_{пр} - H_{осн} - A_1 - Д - H_2 - A_2$ - ФСД	$H_{про} - A_{про} - ФСД$
Производительность, т/ч	400	500
Количество фильтров, шт.	30	14
Удельный расход реагентов, г-экв/г-экв: серной кислоты едкого натра	2,5 2,5	1,8 - 2,0 1,5 - 1,7
Суммарный объем загруженных ионитов, м ³	321,7	161,6
Расход воды на собственные нужды, %	20	10
Электропроводность обессоленной воды, мкСм/см	-	1
Содержание кремниевой кислоты в обессоленной воде, мкг/дм ³	-	5 - 10

Результаты перехода на противоточные фильтры

Показатели	Водоподготовительная установка	
	до реконструкции	после реконструкции
Первоуральская ТЭЦ		
Схема умягчительной установки	Na ₁ - Na ₂	Na _{про}
Производительность, т/ч	700	700
Количество фильтров, шт.	12	4
Удельный расход соли, г-эquiv/г-эquiv	2,5 - 3,1	2,3 - 1,5
Объем катионита, м ³	170	62
Расход воды на собственные нужды, %	2,4	0,9 - 1,5

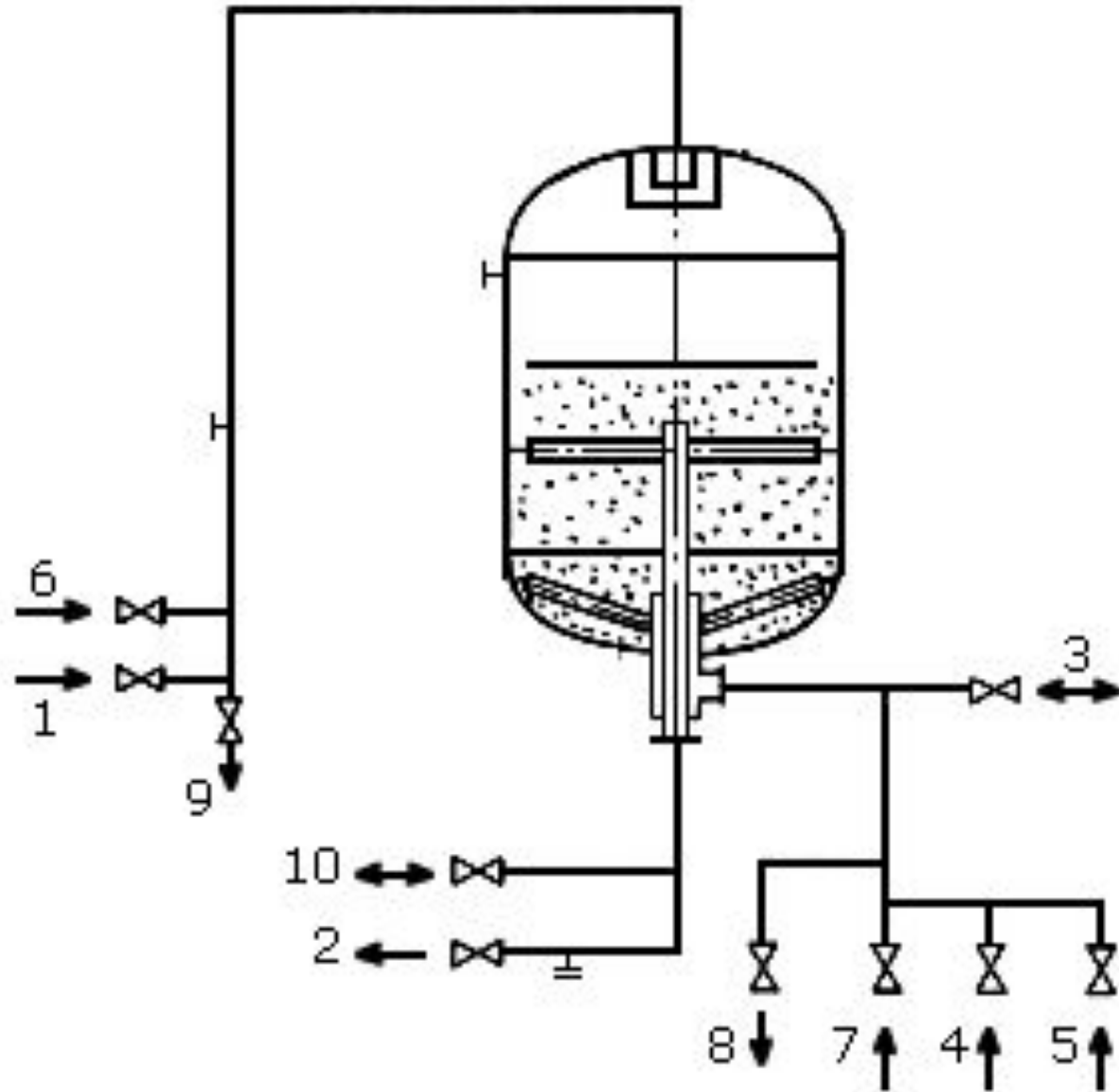
ФИПр (справа) и ФИПа (снизу)



1 - подвод исходной воды; 2 - отвод обработанной воды; 3 - подвод взрыхляющей воды; 4 - подвод регенерационного раствора и отмывочной воды; 5 - дренаж; 6 - отвод взрыхляющей воды

ФИПр-2П

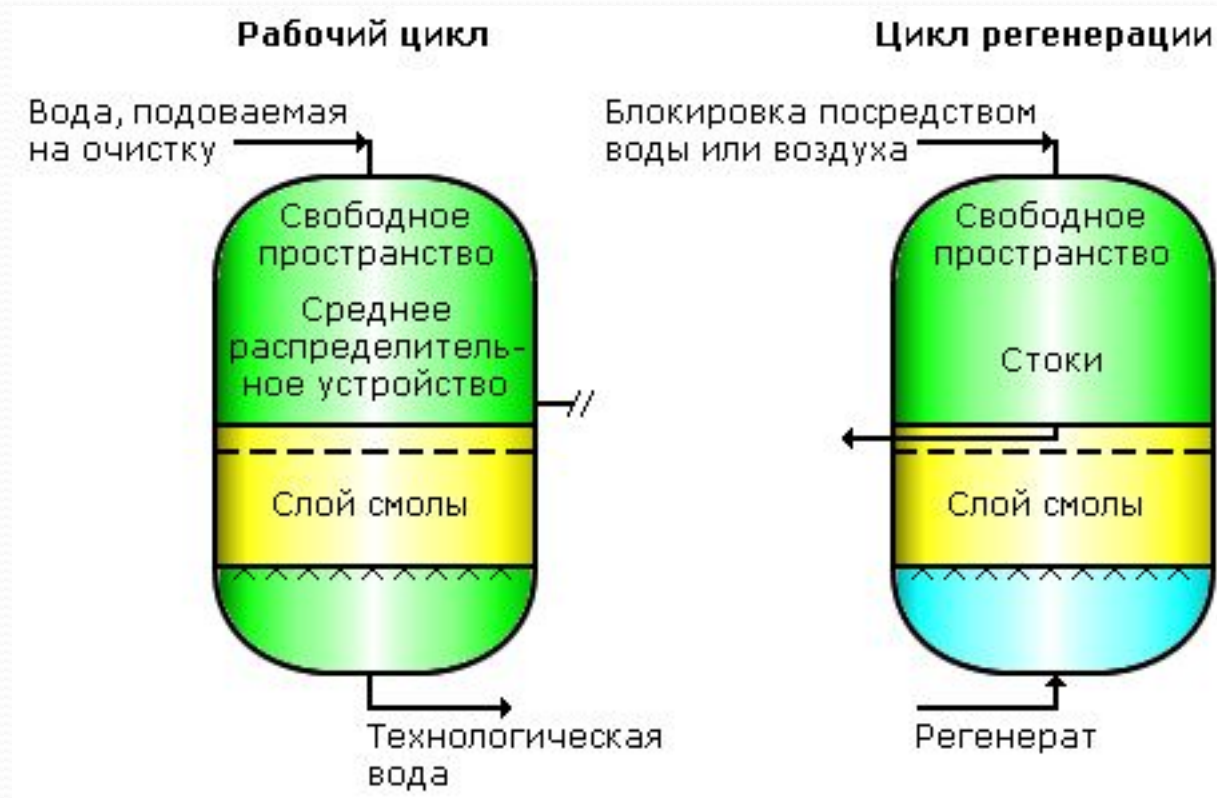
- 1 – подвод исходной воды;
- 2 – отвод фильтрата или отработанного регенерационного раствора и отмывочной воды;
- 3 – подвод исходной воды или отвод фильтрата;
- 4 – подвод регенерационного раствора;
- 5 – подвод воды для взрыхления;
- 6 – подвод регенерационного раствора и отмывочной воды;
- 7 – подвод отмывочной воды;
- 8 – отвод отработанного регенерационного раствора и отмывочной воды;
- 9 – дренаж;
- 10 – подвод взрыхляющей воды, дренаж



Сравнение стоимости фильтров

- ФИПа-I-3,0-0,6: 301 700 руб./шт.
- ФИПр – 3,0-0,6: 1 221 600 руб./шт.

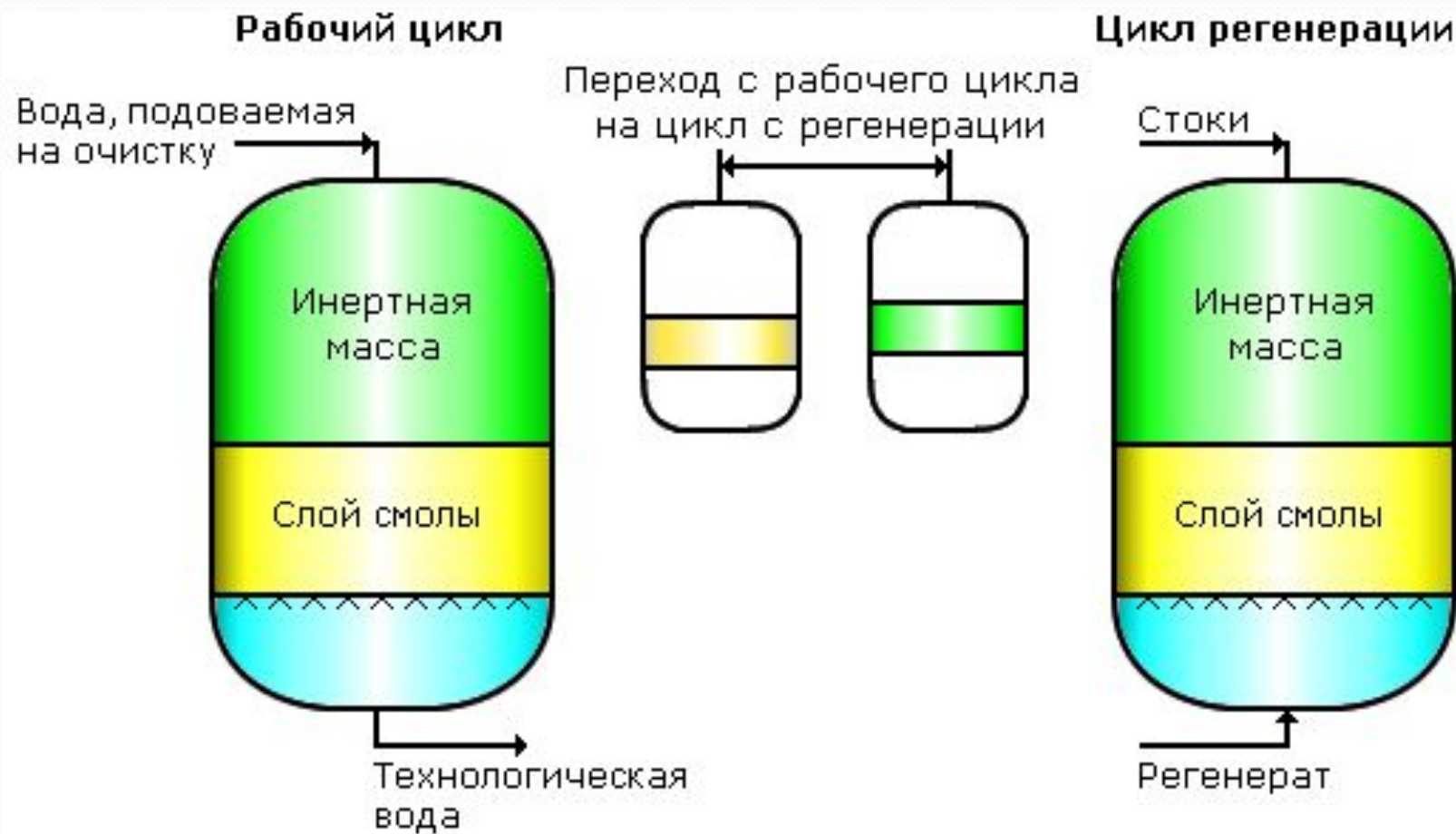
Фильтр с погруженной коллекторной системой (ФИПР)



Недостатки фильтров с погруженной коллекторной системой

- неполное использование объема фильтра;
- вероятность механических повреждений среднего распределительного устройства в результате разбухания и усадки смолы;
- необходимость использования вспомогательного оборудования;
- высокое потребление воды или воздуха;
- необходимость больших затрат времени и труда для осуществления регенерации;
- необходимость периодической промывки фильтра обратным потоком

Фильтры с блокировкой инертной массой



Недостатки фильтров с блокировкой инертной массой

- необходимость использования дополнительного оборудования и средств управления для переноса инертной массы;
- необходимость дополнительного регулирования объема инертной массы для поправки на изменение объема смолы;
- неполное использование активного объема фильтра;
- наличие большого объема неактивной смолы;
- необходимость периодической промывки фильтра обратным потоком

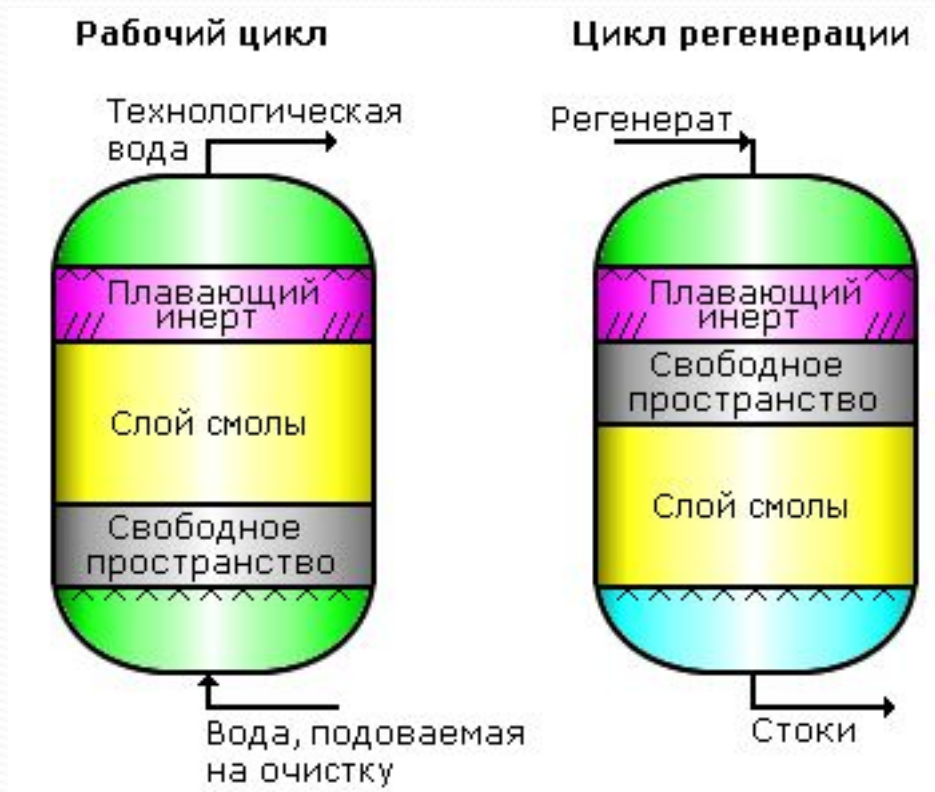
Система с уплотненным слоем (Швебебед)

Фильтры с плавающим слоем и противоточной регенерацией в направлении сверху вниз.

Разработаны фирмой "Bayer AG" и запатентованы в 1963 г. под названием "Швебебед«. После окончания действия патента, доработан фирмами "Ром энд Хаас" и "Пьюролайт" и продвигается ими на рынке под названием "Амберпак" и "Пьюропак".

Система с уплотненным слоем (Швебебед)

- высокая степень использования объема фильтра
- малая продолжительность цикла регенерации

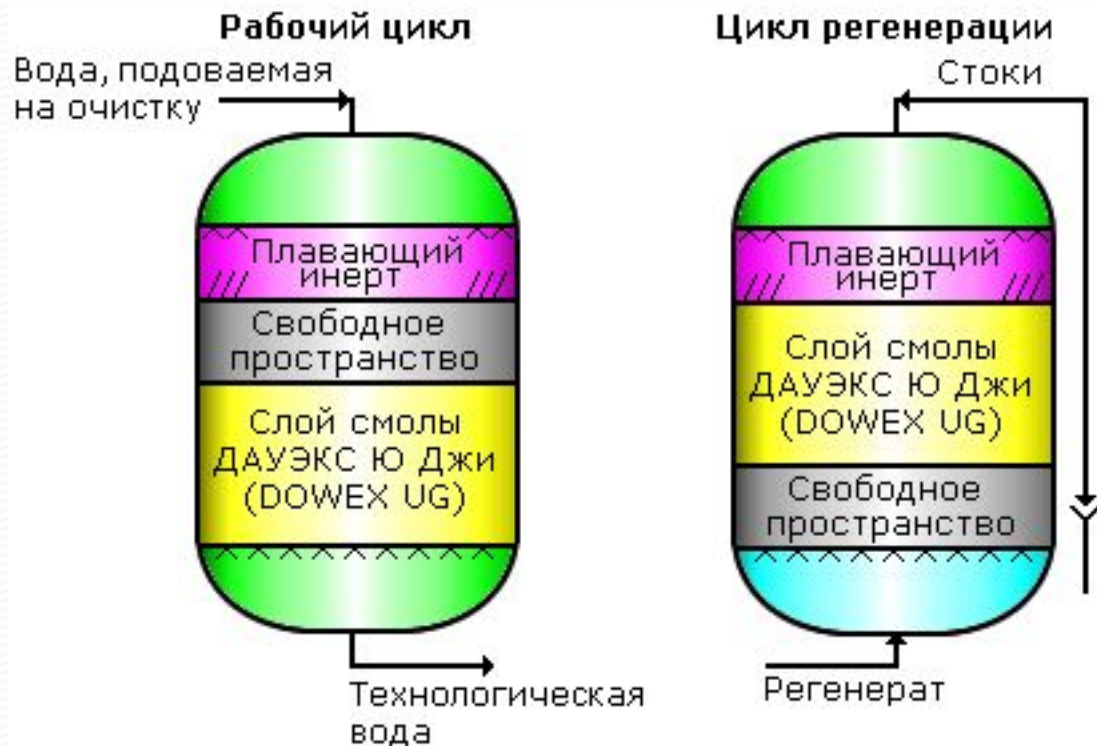


Недостатки системы с уплотненным слоем (Швебебед)

- Использование только монодисперсных ионитов, например, типа Амберджет
- Слой ионита при работе фильтра всегда должен быть прижат к верхней дренажной системе для предотвращения перемешивания загрузки. Поэтому скорость фильтрования может колебаться в пределах от 10 – 20 до максимальной 40 – 50 м/ч. При меньшей скорости слой может оседать и перемешиваться, то же происходит при выводе фильтра из работы
- В связи с отсутствием требуемого объема для расширения ионита при его взрыхлении, часть или весь ионит периодически переводится во вспомогательную колонку (емкость) для проведения взрыхления
- Во избежание чрезмерного повышения перепада давления при работе фильтра такого типа за счет проникновения взвешенных веществ в нижнюю часть зажатого слоя и ионитной мелочи в верхнюю часть слоя при оседании ионита содержание грубодисперсных и коллоидных примесей в обрабатываемой воде должно быть сведено к минимуму, что определяет необходимость проведения тщательной предварительной подготовки воды.
- фильтрование сквозь слой большой высоты приводит к накоплению взвешенных твердых частиц;
- система требует обязательного использования ловушек для смолы во избежание механического уноса ее мелких частиц

Подача воды сверху вниз: система UP.CO.RE

Предложена компанией Esmil и лицензирована в Dow Chemical под название UP.CO.RE. (Up flow Countercurrent Regeneration)



Рабочий цикл UR.CO.RE.

- фильтрация исходной воды в режиме обессоливания сверху вниз со скоростью до 40 м/ч;
- взрыхление с одновременным прижатием ионита к верхнему РУ при подаче обессоленной воды снизу вверх со скоростью потока 30 – 40 м/ч продолжительностью 3 – 5 мин;
- регенерация ионитов 1 – 3%-ным раствором кислоты и 4%-ным раствором щелочи снизу вверх со скоростью потока 10 м/ч в течение 30 – 40 мин;
- отмывка ионитов от остатков регенерационного раствора в том же направлении со скоростью 10 м/ч в течение 30 мин.
- осаждение слоя ионита в течение 10 мин;
- отмывка ионитов сверху вниз со скоростью 20 – 30 м/ч в течение 30 – 40 мин исходной водой

Особенности работы

зарубежных противоточных

систем

- работоспособность зарубежных противоточных фильтров может быть гарантирована только при использовании дорогостоящих монодисперсных ионитов определенного типа
- реконструкция отечественных параллельноточных фильтров в противоточные системы требует изменения конструкции дренажно-распределительных устройств;
- при использовании лучевых конструкций для верхних ДРУ в фильтре $d = 3,4$ м создается "мертвый" объем, для заполнения которого будет израсходовано около $6,0$ м³ инерта, стоимость которого соизмерима со стоимостью монодисперсной анионообменной смолы;
- загрузка противоточных фильтров ионитами практически на всю его высоту не оставляет свободного объема для проведения взрыхляющей промывки в свободном пространстве, что предъявляет жесткие требования к качеству осветленной воды по содержанию грубодисперсных примесей, предельная концентрация которых не должна превышать 1 мг/дм³
- организация противоточного обессоливания в одну ступень снижает надежность получения фильтрата требуемого качества, а быстрое нарастание проскоковых концентраций ионитов Na^+ или SiO_3^{2-} в обессоленную воду требует организации прецизионного химического контроля;
- построение схемы обессоливания в виде цепочки из Н- и ОН- фильтров с полной загрузкой их ионитами приводит к недоиспользованию обменной емкости одного из фильтров, так как регулирование равной продолжительности фильтроциклов изменением высоты слоя ионитов исключается в соответствии с технологией "зажатия" слоя ионитов в противоточных фильтрах зарубежной конструкции;
- эффективное использование противоточных фильтров требует более высокой культуры их эксплуатации, строгого соблюдения технического регламента, оснащения установок разнообразными автоматическими приборами для контроля физических и химических параметров, включенных в систему автоматизации процессов управления установкой.

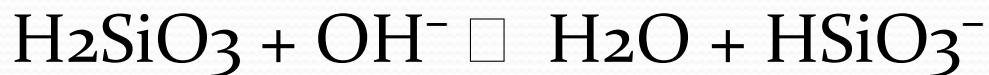
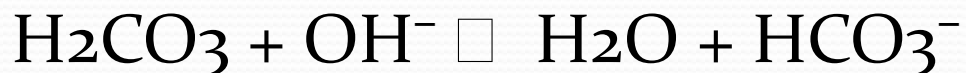
ОН-анионирование

Замена всех анионов из воды на OH^-

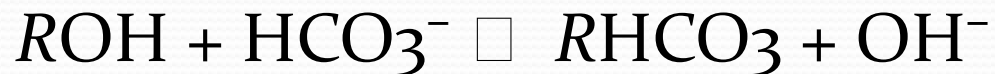
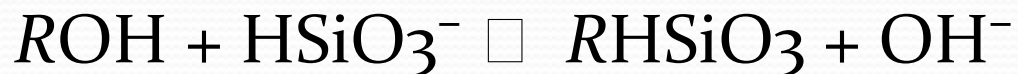
Реакции:



Избыток OH^- – высокий pH:



И тогда (только высокоосновные аниониты):



Разделение на две ступени

- Слабоосновный анионит в А1: удаление SO_4^{2-} и Cl^-
- Высокоосновный анионит в А2: HCO_3^- и HSiO_3^-

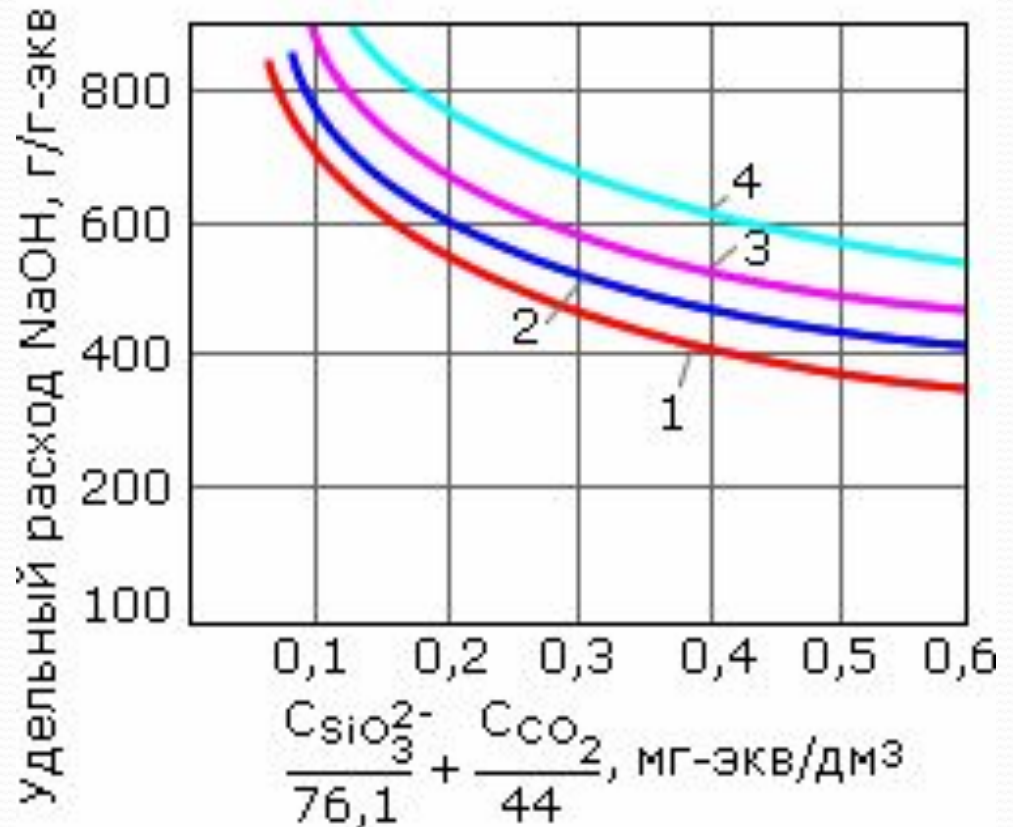
Регенерация ОН-анион. фильтров

4% раствором NaOH



Избыток NaOH

- A1: n = 2
- A2: n = 10-20

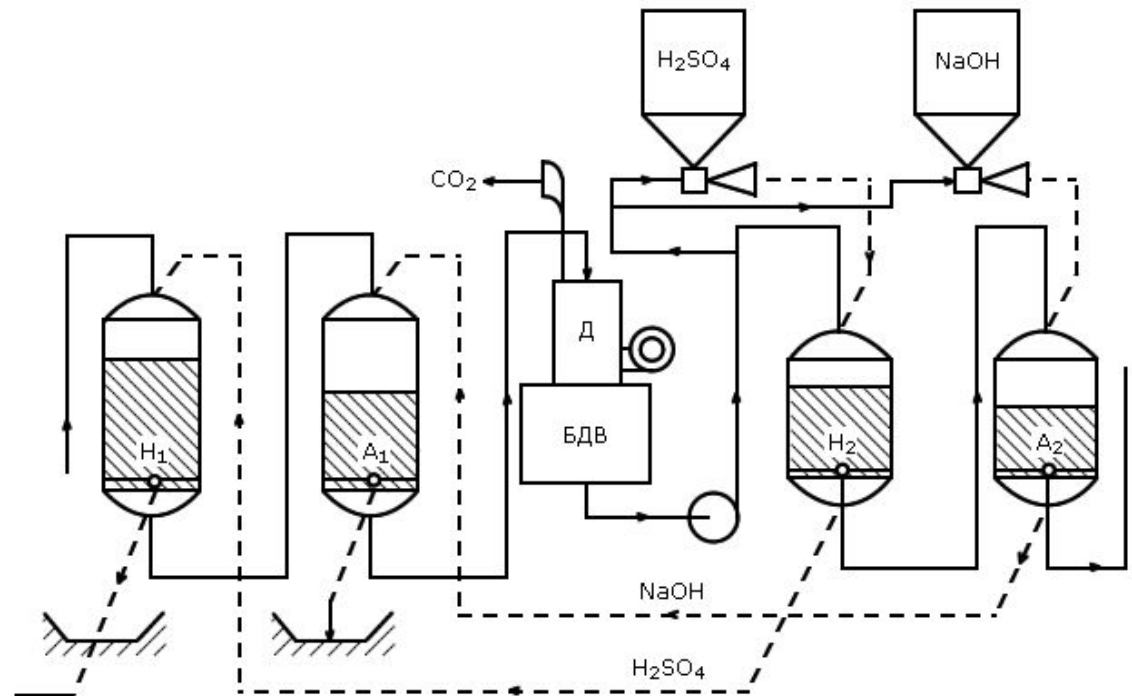


Удаление H_2SiO_3^-

- H_2SiO_3^- более слабая, чем H_2CO_3 и диссоциирует только после полного удаления H_2CO_3

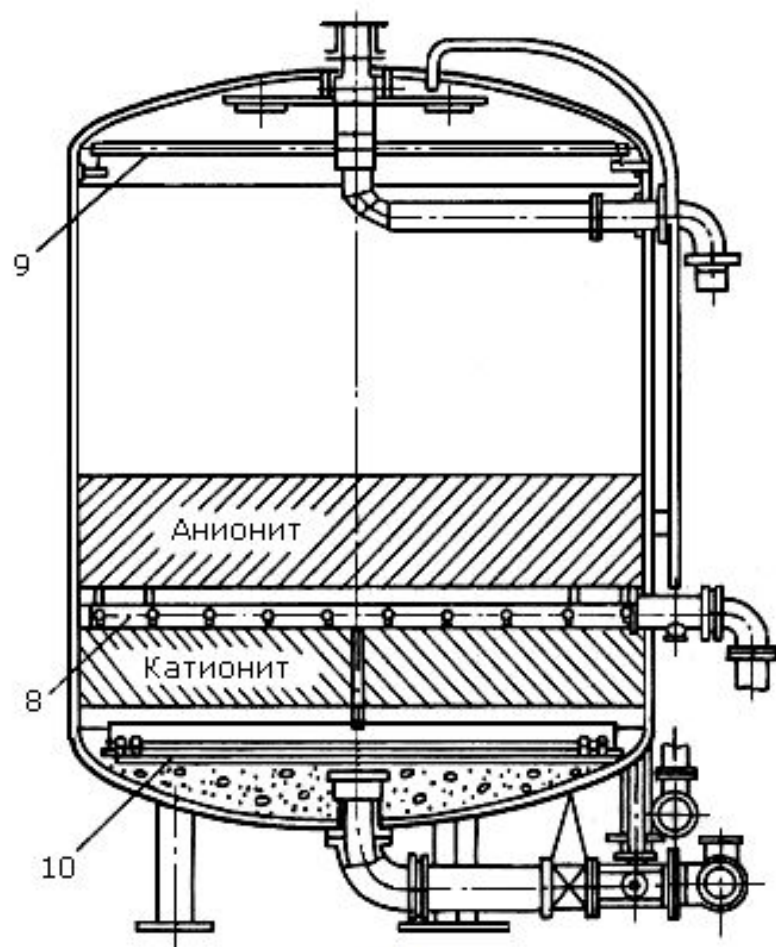
Поэтому устанавливают **декарбонизатор**

$$C_{\text{CO}_2} = 4-5 \text{ мг/дм}^3$$



Фильтры смешанного действия

- Загрузка: смесь (от 2:1 до 1:2) сильнокислотного катионита и сильноосновного анионита
- Снижение противоионного эффекта
- Остаточная удельной электропроводимость менее 0,2 мкСм/см



Ионный обмен

Оборудование ионитной части ВПУ

23.11.2011

Номенклатура ионитных фильтров

- **ФИПа I** - фильтры ионитные параллельно-точные первой ступени;
- **ФИПа II** - фильтры ионитные параллельно-точные второй ступени;
- **ФИПр** - фильтры ионитные противоточные; **ФИПр-2П** - фильтры ионитные двухпоточно-противоточные;
- **ФИСДНр** - фильтры ионитные смешанного действия с наружной (выносной) регенерацией;
- **ФИСДВр** - фильтры ионитные смешанного действия с внутренней регенерацией;
- **ФР** - фильтры регенераторы для ФИСД с наружной регенерацией

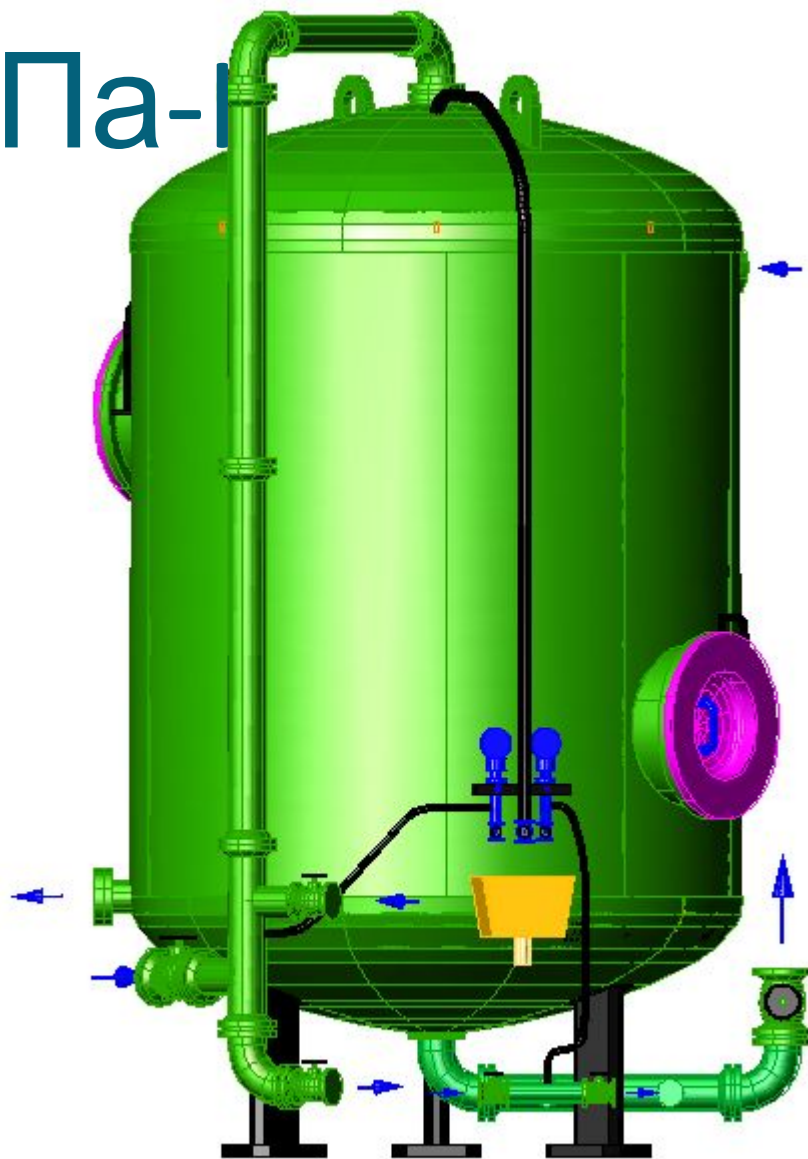
Наименование ионитных фильтров

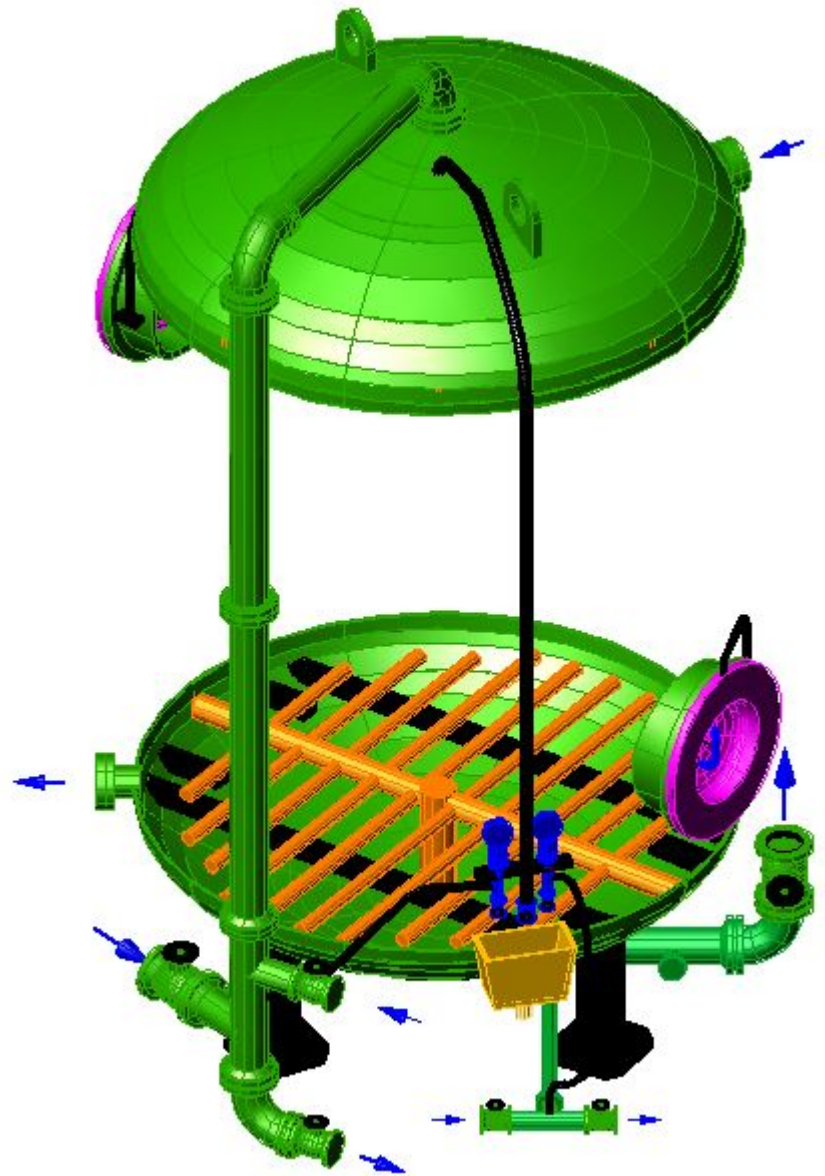
● ФИПа-I-3,4-0,6

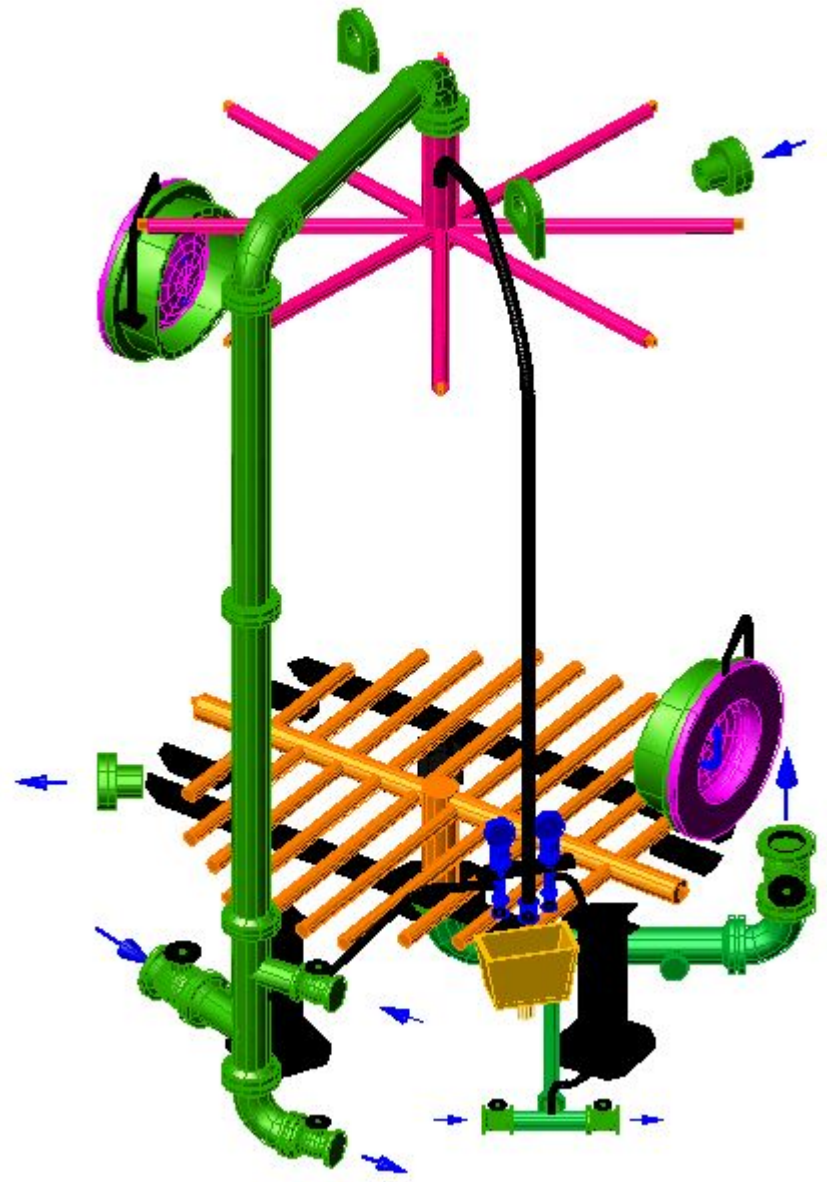
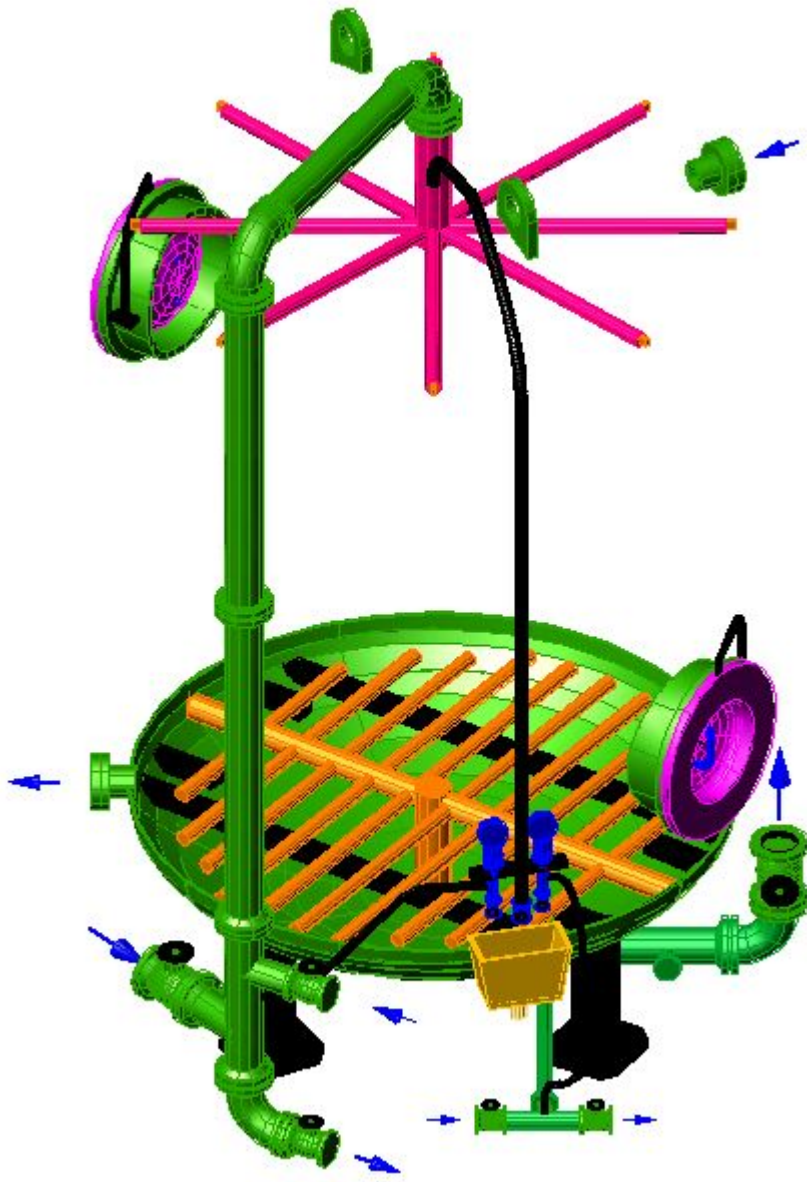
где:

- ФИПа-I – фильтр ионитный параллельно-точный первой ступени
- 3,4 – диаметр фильтра (1,0; 1,4; 2,0; 2,6; 3,0; 3,4 м)
- 0,6 – рабочее давление, МПа

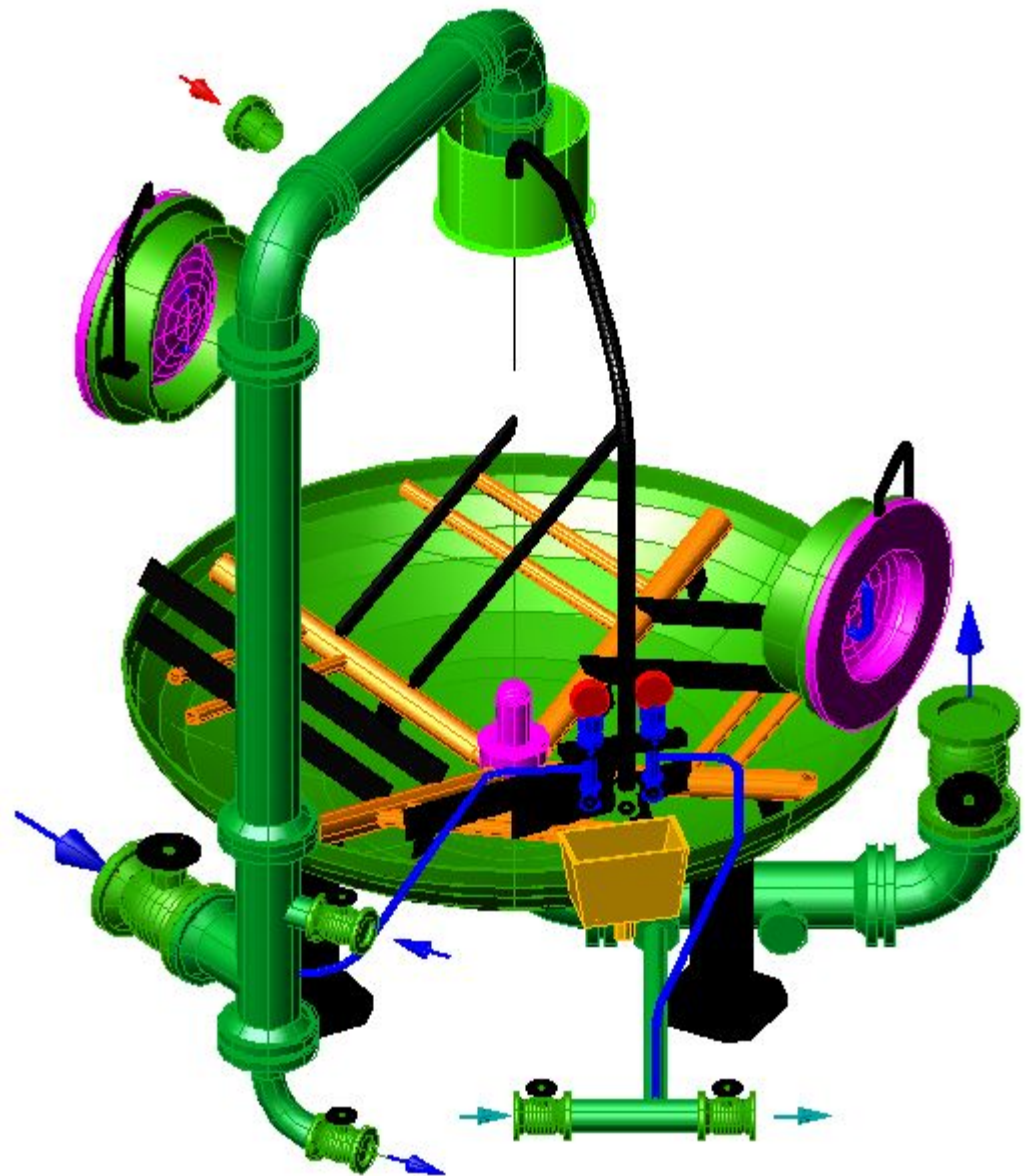
ФИПа-1





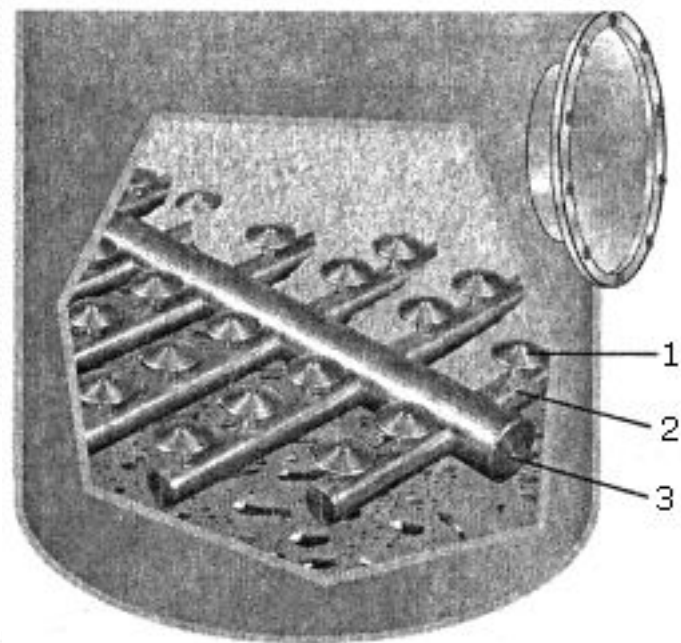
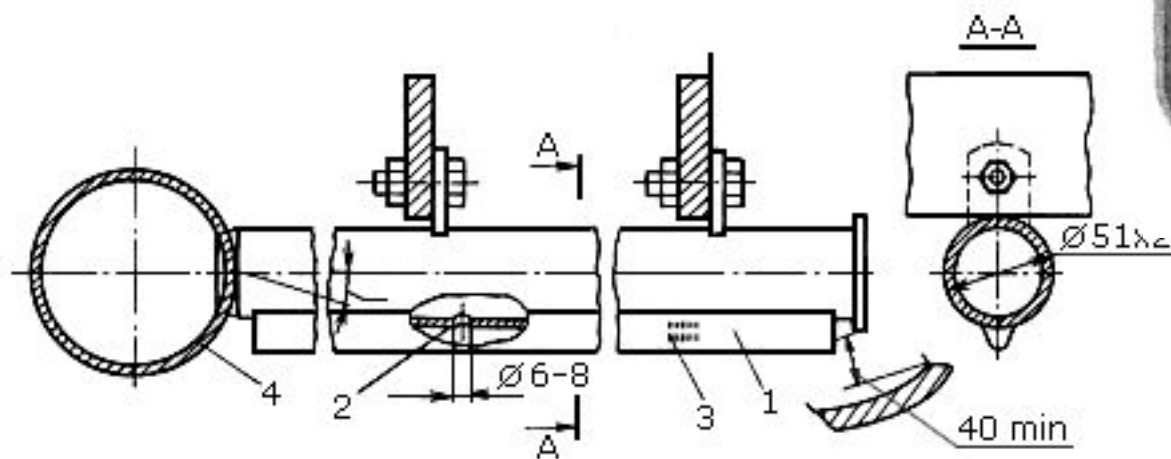


ФИПа-II



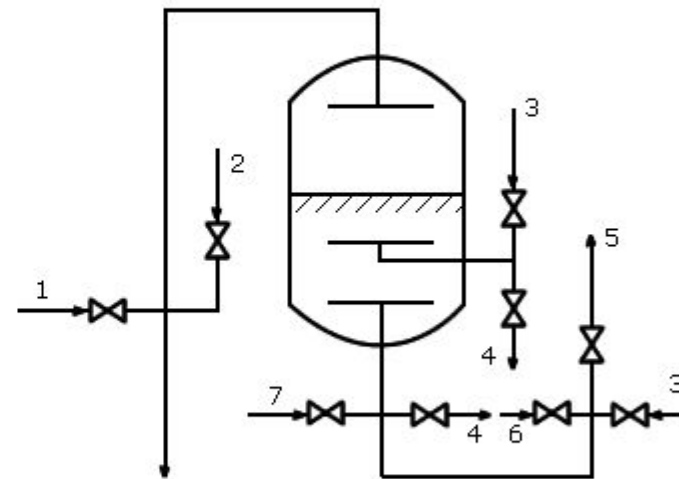
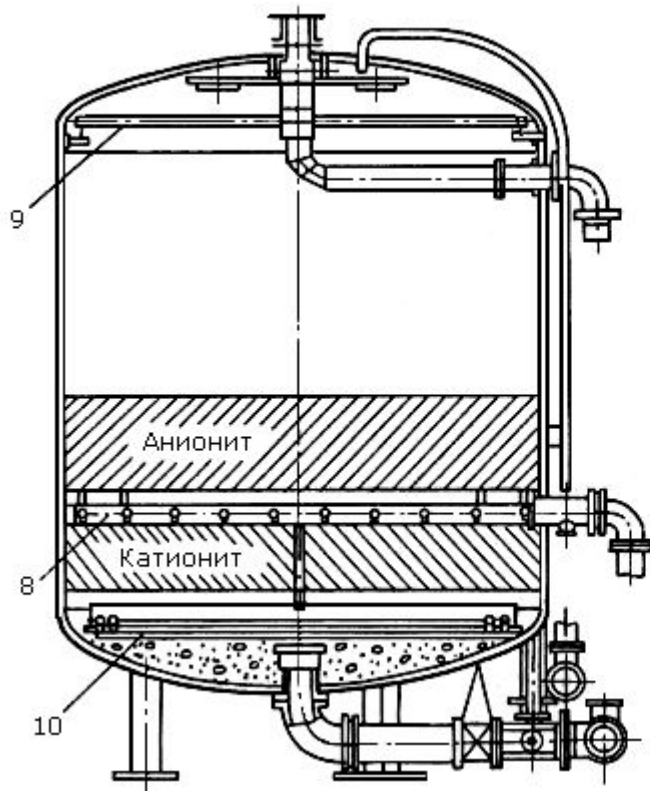
Нижние дренажно-распределительные устройства

- щелевые колпачки "ТЭКО-ФИЛЬТР" (справа)
- щелевые дренажные устройства ТКЗ желобкового типа (снизу)



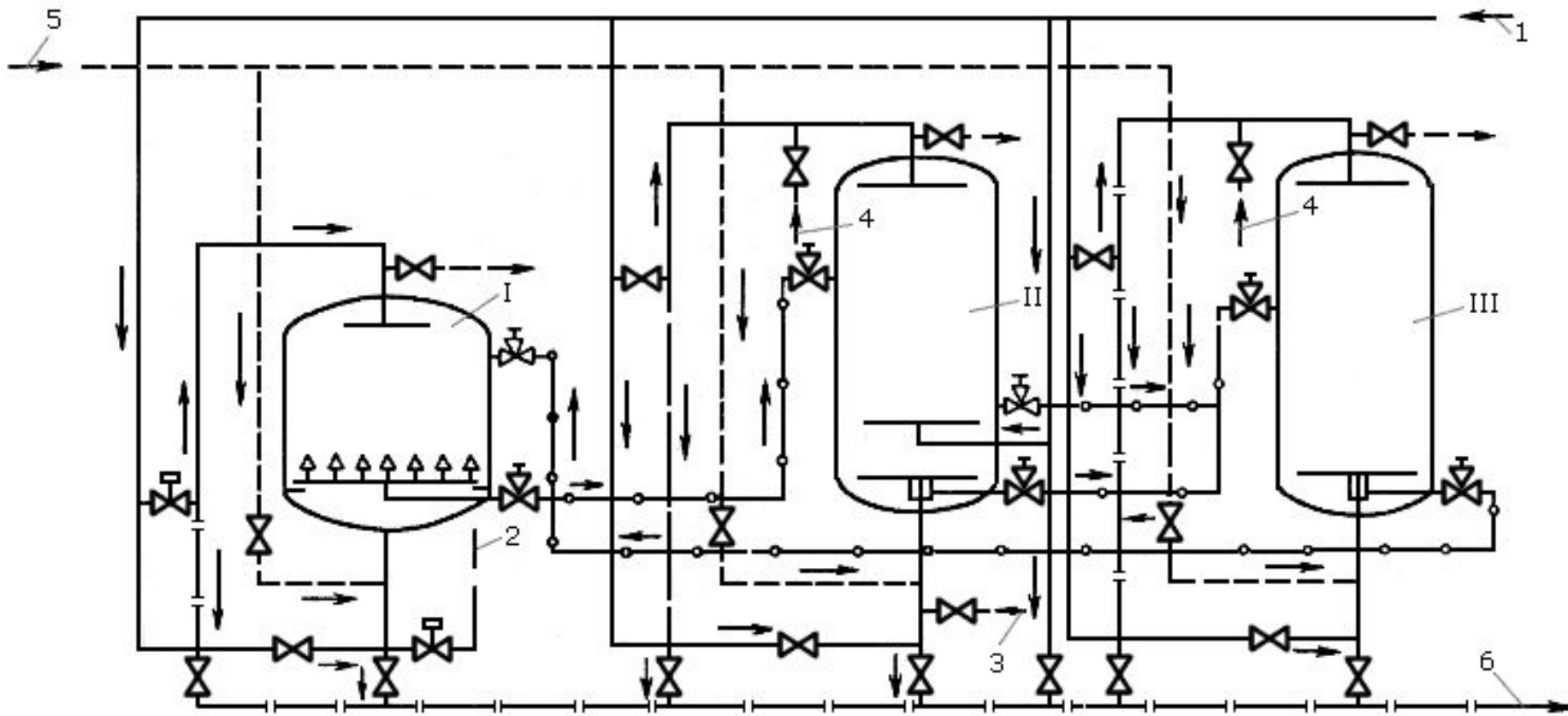
Фильтры смешанного действия

- Внутренняя регенерация



1 – подвод обрабатываемой воды; 2 – подвод регенерационного раствора щелочи; 3 – подвод обессоленной воды; 4 – спуск в дренаж; 5 – выход фильтрата; 6 – подвод регенерационного раствора кислоты; 7 – подвод сжатого воздуха; 8 – средняя дренажная система; 9, 10 – верхняя и нижняя дренажные системы

ФСД с наружной регенерацией

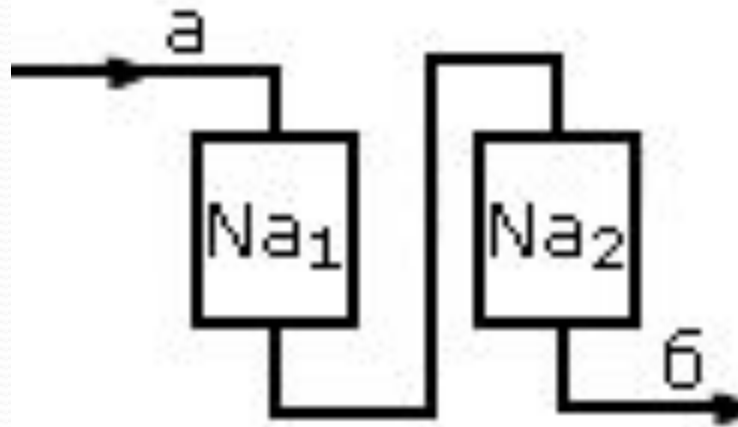
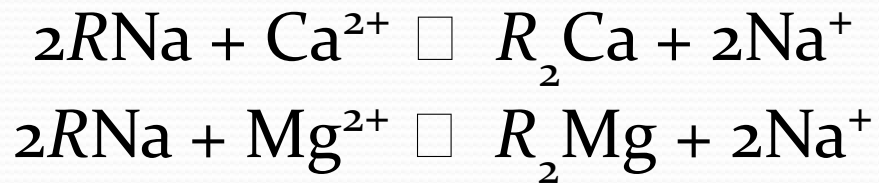


I – фильтр смешанного действия; II – первый фильтр-регенератор; III – второй фильтр-регенератор; 1 – подвод турбинного конденсата на обработку; 2 – отвод очищенного конденсата; 3 – подвод регенерационного раствора H_2SO_4 ; 4 – подвод регенерационного раствора $NaOH$; 5 – подвод сжатого воздуха; 6 – сброс на нейтрализацию стоков; а – конденсат; б – воздух; в – гидроперезагрузка ионитных материалов; г – дренаж; д – задвижка с приводом; е – клапан шланговый; ж – задвижка или вентиль

Ионный обмен

Технологические схемы ионитных установок

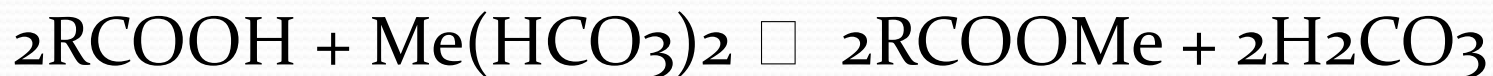
Na-катионирование



Недостатки: щелочность (HCO_3^- – без изменений)

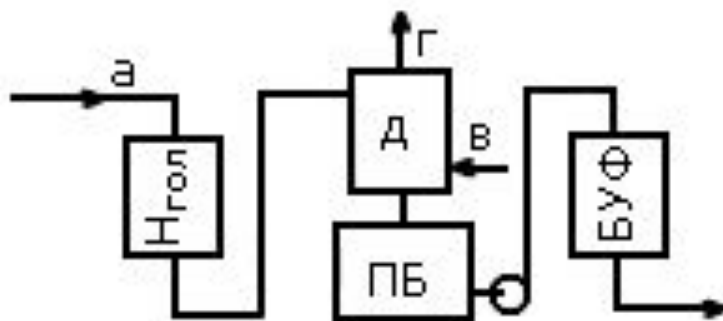
H-катионирование с "голодной" регенерацией

Используется слабокислотный катионит
(сульфоуголь) на основе карбоксильных (COOH)
функциональных групп:



На выходе: щелочность 0,4-0,7 мг-экв/дм³

БУФ – буферный фильтр для выравнивания
углекислотного равновесия

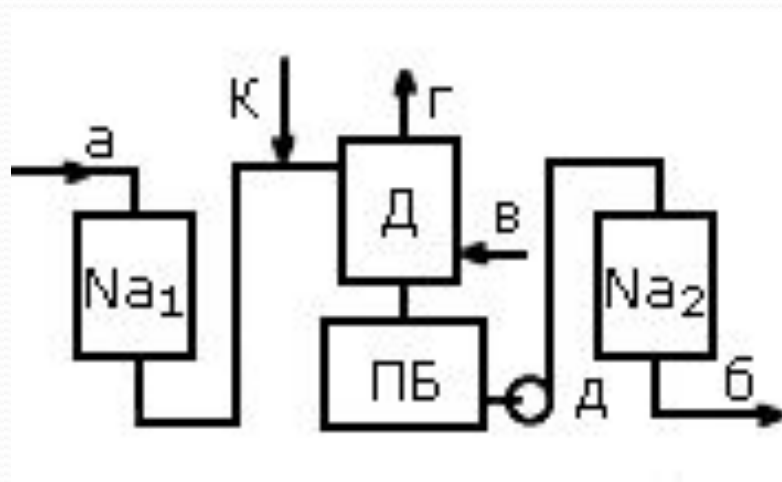


Na-катионирование с дозированием кислоты

Дозируется H_2SO_4 :



CO_2 удаляется в декарбонизаторе (Д)



Параллельное Н-На-катионирование

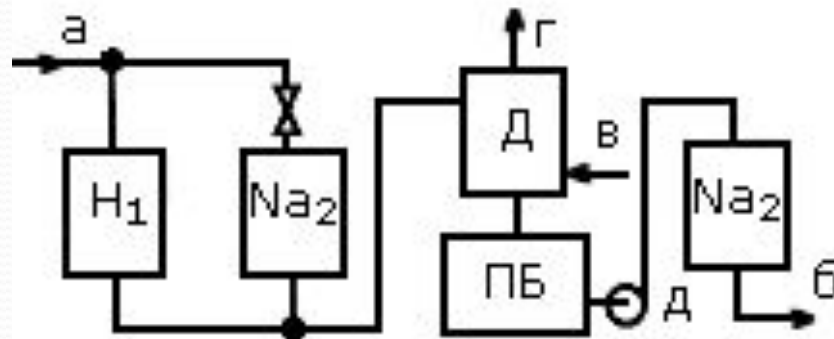
- Условия:

- $J_k > 0.5 \cdot J_0$

- суммарная концентрация анионов сильных кислот менее 7 мг-экв/дм³

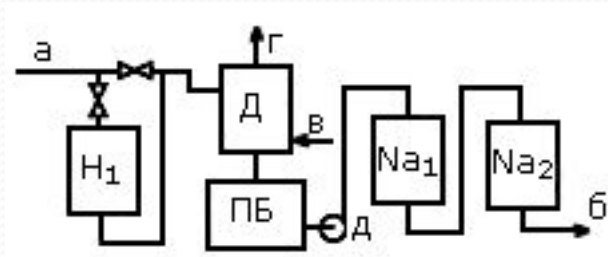
- Баланс точки смешения:

$$(1 - x) \cdot C_{\text{HCO}_3^-} - x \cdot (C_{\text{SO}_4^{2-}} + C_{\text{Cl}^-}) = \text{Щост} = 0,3-0,5(\text{мг-экв/л})$$



Последовательное H-Na-катионирование

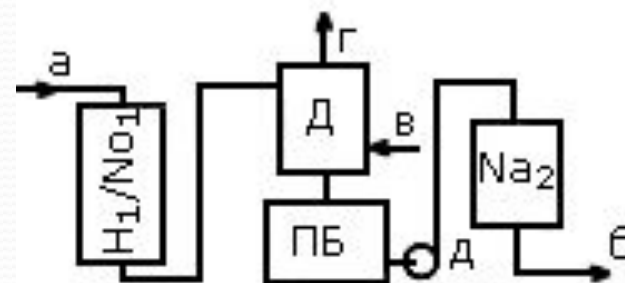
- Аналог предыдущего, но отключение H_1 производится не по проскоку жесткости, а при повышении щелочности до 0,7-1,0 мг-ЭКВ/л



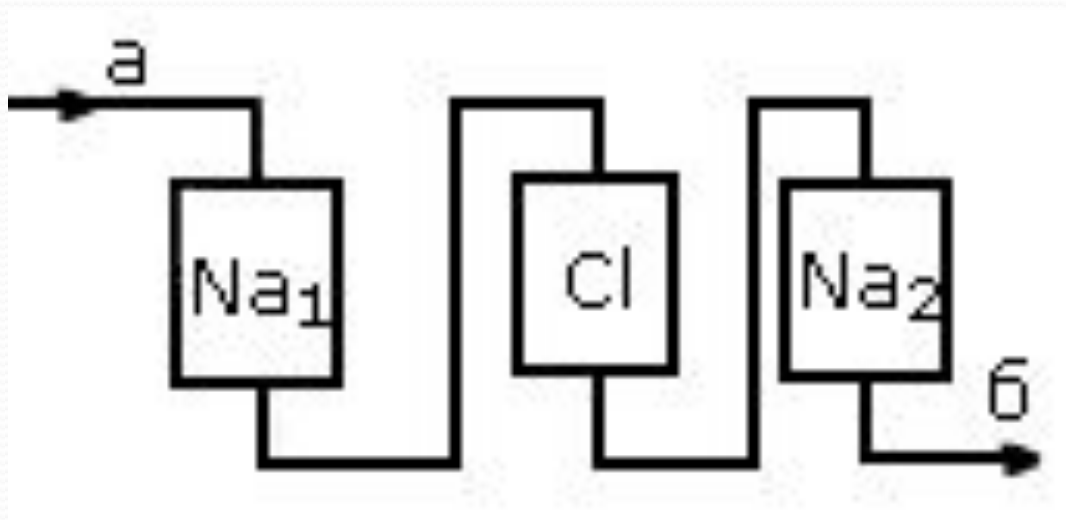
Совместное H-Na- катионирование

- сумма анионов сильных кислот в обрабатываемой воде не превышает 3,5 - 5.0 мг-ЭКВ/л
- Щост = 1.0 - 1.3 мг-ЭКВ/л

Преимущества: отсутствуют кислые стоки



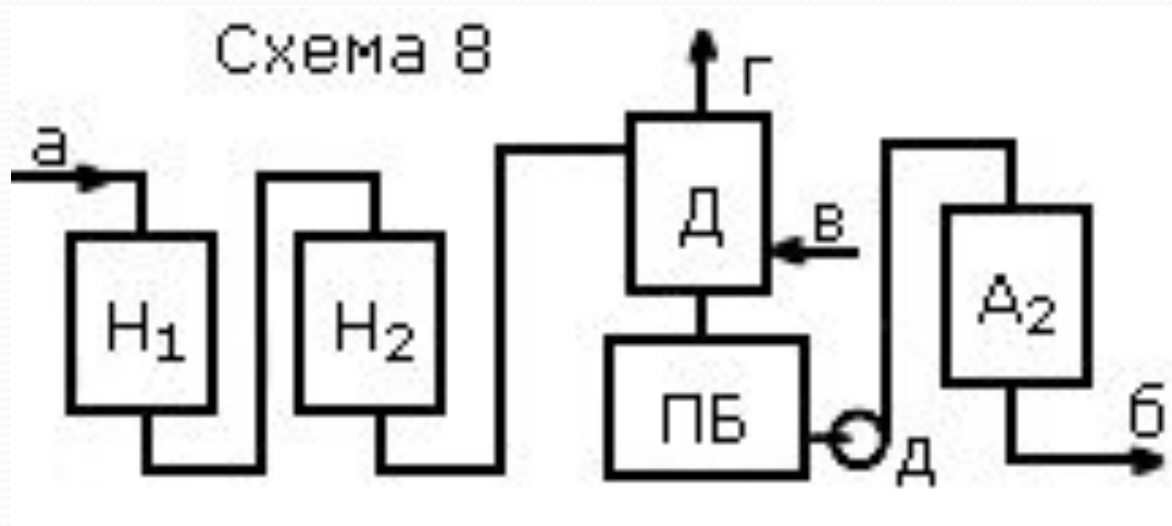
Na-Cl-ионирование



Подготовка химически обессоленной воды

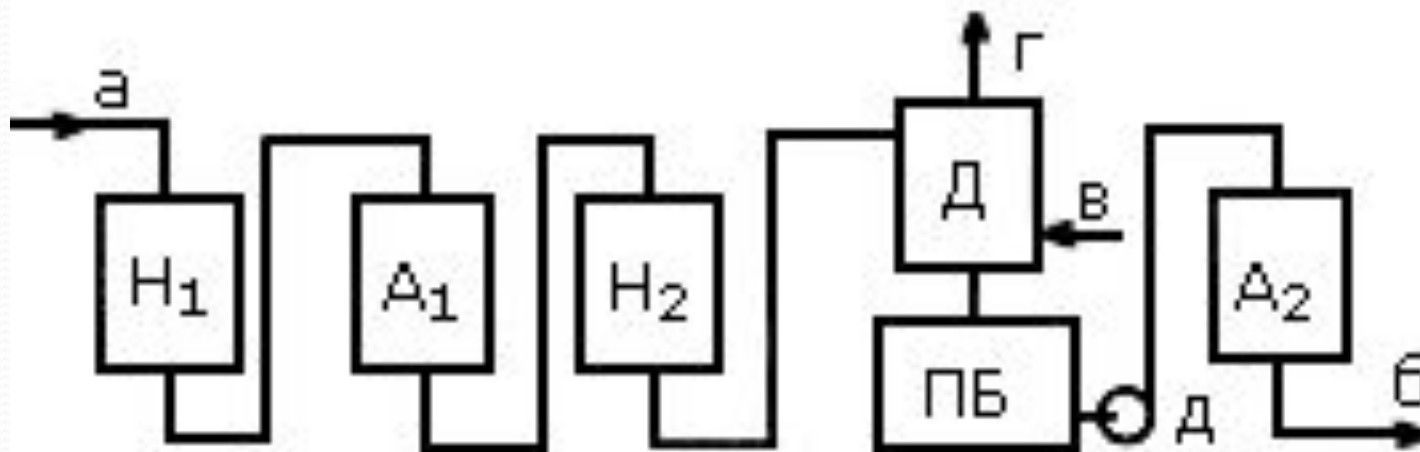
- частичное химическое обессоливание
- глубокое химическое обессоливание
- полное химическое обессоливание

Частичное химическое обессоливание



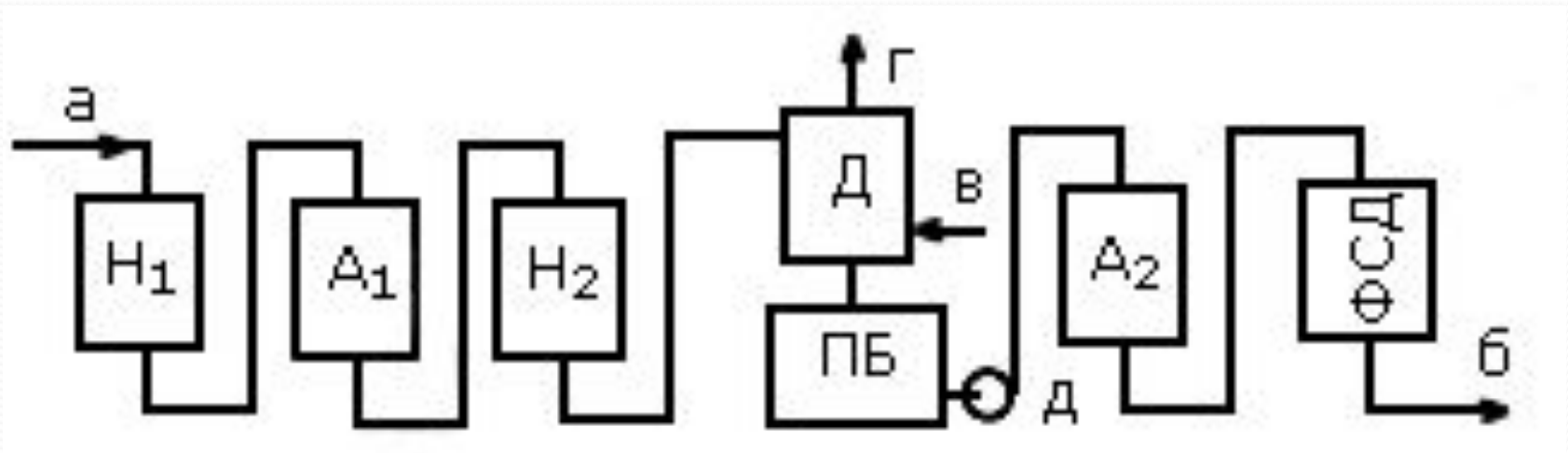
Барабанные котлы низкого и среднего давлений

Глубокое химическое обессоливание



Барабанные котлы среднего, высокого и сверхвысокого давления

Полное химическое обессоливание



Прямоточные котлы и ядерные реакторы
Кремнекислота – менее 10 мкг/л

Схемы соединения фильтров

- секционная (параллельное включение)
- блочная (цепочки)

