Министерство образования и науки РФ

Реферат

«Ионообменные установки»

Содержание

1. Введение

2. Ионный обмен в водоподготовке

3. Виды ионитов

3.1 Органические иониты

3.2 Неорганические иониты

4. Ионообменная адсорбция

5. Ионный обмен

6. Ионообменные установки серии SF

7. Современные бытовые и промышленные ионообменные фильтры водоподготовки

7.1 Фильтры непрерывного действия

7.2 Ионитовые противоточные фильтры для умягчения и обессоливания воды

8. Оборудование ионообменных установок

8.1. Противоточная регенерация ионообменных смол для водоподготовки

8.2 Ионообменная смола "Ультраион А"

9. Заключение

Список литературы

**Введение**

**Основные проблемы с водой**

В большинстве случаев вода, поступающая как из скважины, так зачастую и из муниципальной водопроводной системы, нуждается в предварительной обработке, целью которой является доведение качества воды до действующих нормативов.

Судить о качестве воды и ее соответствии или несоответствии установленным нормам можно только на основании максимально полного химического и бактериологического анализа. Только на основе анализа можно делать окончательный вывод о той проблеме или комплексе проблем, с которыми придется иметь дело.

Наиболее распространенными неприятностями c водой, с которыми приходится сталкиваться следующие:

-Наличие в воде нерастворенных механических частиц: песка, взвесей, ржавчины, а также коллоидных веществ.

-Присутствие в воде растворенного железа и марганца.

-Жесткость, которая определяется количеством растворенных в воде солей кальция и магния.

-Наличие в воде неприятного привкуса, запаха и цветности.

-Бактериологическая загрязненность.

Естественно, что приведенный выше список не исчерпывает всего многообразия проблем, возникающих с водой, однако знакомит Вас с наиболее распространенными из них.

**Методы улучшения качества воды в зависимости от загрязнения**

Обработка воды с целью подготовки ее для питья, хозяйственных и производственных целей представляет собой комплекс физических, химических и биологических методов изменения ее первоначального состава. Под обработкой воды понимают не только очистку ее от ряда нежелательных и вредных примесей, но и улучшение природных свойств путем обогащения ее недостающими ингредиентами. [17]

 В принципе существует два метода улучшения качества воды:

-Метод хим. добавок для связывания нежелательных элементов

-Метод устранения самих примесей из воды

Из названия самих этих методов видно, что метод устранения более предпочтителен, чем ввод дополнительных химических ингредиентов, что может привести к появлению побочных эффектов.

|  |  |
| --- | --- |
| **Проблема с водой****Цветность****Мутность****Жесткость****Запах****Температура воды****Водородный показатель pH****Аммиак****Нитриты****Нитраты****Свободный хлор****Хлориды****Фосфор общий****Кремний общий****Монофосфаты****Марганец общий****Магний****Поташ****Электропроводимость****Карбонаты****Сульфаты****Окисляемость****Хлор остаточный****Органический углерод****Кислород****Общее железо****Общее количество бактерий****Фекальный колиформы****Общие колиформы** | **Метод решения**Фильтрация на активированном угле/ коагуляция + фильтрацияФильтрация на активированном угле/ коагуляция + фильтрацияИонный обмен/обратный осмосФильтрация на активированном угле /озоновая обработка/аэрацияОхлаждениеРегулирование pH/аэрация/нейтрализация/подщелачивание/декорбанизацияВыветривание/ионный обмен/обратный осмосОзонирование/хлорированиеИонный обмен/обратный осмосФильтрация на активированном углеИонный обмен/обратный осмос/фильтрация на активированном углеОбратный осмосОбратный осмосОбратный осмосДеманганацияИонный обмен/обратный осмосИонный обмен/обратный осмосИонный обмен/обратный осмосИонный обмен/обратный осмосИонный обмен/обратный осмосИонный обмен/обратный осмосФильтрация на активированном углеФильтрация на активированном угле/озонирование + фильтрация на активированном углеАэрация (при низком содержании)ОбезжелезиваниеДезинфекция (Озонирование/ хлорирование /УФ обработка) |

**Необходимость доочистки воды**

Поступающая в наш дом вода в большинстве случаев требует доочистки. Это связано с тем, что проходя через трубы, набирает довольно большое количество посторонних примесей, которые вредны для здоровья, а некоторые соли на станциях водоподготовки не удаляются. А для того чтобы все биохимические процессы в организме человека протекали в оптимальном режиме, вода должна иметь определенное качество:

Вода должна быть абсолютно чистая. Она не должна содержать хлора и его органических соединений, солей тяжелых металлов, нитратов, нитритов, пестицидов, ксенобиотиков, бактерий, вирусов, грибков, паразитов, простейших, органических веществ и т.д.

Вода должна быть "жидкой", биологически доступной, легкоусвояемой, т.е. степень поверхностного натяжения между молекулами воды не должна быть слишком большой. Водопроводная вода имеет степень поверхностного натяжения до 73 дин/см, а внутри и внеклеточная вода около 43 дин/см. Клетке требуется большое количество энергии на преодоление поверхностного натяжения воды.

Вода должна быть средней жесткости. Так как и очень жесткая и очень мягкая вода одинаково неприемлема для клеток.

Вода должна быть нейтральной.

Вода должна быть слабоминерализованна для поддержания электролитного состава жидкостей организма.

Каким же образом мы можем изменить физико-химические свойства воды, чтобы сделать ее: чистой, "жидкой", биологически доступной, легкоусвояемой, безопасной, химически активной, именно такой, чтобы она соответствовала потребностям живой клетки?

Мы можем: прокипятить, отстоять, профильтровать, заморозить и разморозить, электроактивировать, минерализовать, изменить рН при помощи химических методов, омагнитить, дистиллировать, воздействовать на нее светом, звуком, биополем и многое многое другое. [17]

**2. Ионный обмен в водоподготовке**

ионообмен смола вода очистка

ИОННЫЙ ОБМЕН - это обратимая химическая реакция, при которой происходит обмен ионами между твердым веществом (ионитом) и раствором электролита.

В водоподготовке ионный обмен применяют для умягчения, обессоливания воды, селективного удаления различных ионов и т.д. Подлежащая очистке вода проходит через один или систему фильтров, заполненных ионитами, подбираемыми в зависимости от требуемой задачи. Иониты удаляют из воды соответствующие ионы и обмениваются с водой эквивалентными количествами других ионов, которые первоначально находились в ионите. Обменивающиеся ионы называются противоионами. Иониты состоят из неподвижного каркаса - матрицы и функциональных групп - фиксированных ионов, которые жестко прикреплены к матрице и взаимодействуют с противоионами.

В зависимости от знака заряда противоионов иониты делят на катиониты и аниониты. Если противоионы заряжены положительно, т.е. являются катионами (например, ионы водорода Н+ или ионы металлов), ионит называют катионитом. Если противоионы заряжены отрицательно, т.е. являются анионами (например, ион гидроксила ОН- или кислотные остатки), ионит называют анионитом.

Основными характеристиками ионитов являются: селективность, рабочая обменная емкость и кинетика ионного обмена.

Селективность ионита показывает, насколько эффективно ионит способен удалять те или иные противоионы в присутствии других конкурирующих противоионов. Селективность ионитов определяется природой матрицы ионита, типом функциональных групп, концентрацией противоионов в растворе и т.д. Как правило, селективность ионитов возрастает с увеличением заряда противоиона, а среди ионов с одним и тем же зарядом - с увеличением атомного веса. Т.е., чем тяжелее противоион и чем выше его заряд, тем большую селективность проявляет к нему ионит. Типичный ряд селективности показан ниже:

Исключение составляют противоионы, которые образуют малодиссоциирующие соединения с фиксированными группами, например, слабоосновные иониты с анионами слабых кислот (карбонатами), или некоторые цеолиты с аммонием. Кроме того, возможны специфические взаимодействия, основанные на хелатном эффекте или на ситовом эффекте.

Обращение селективности наблюдается при увеличении концентрации раствора. Например, двухзарядные противоионы могут быть вытеснены из ионита однозарядными противоионами при контакте с раствором, содержащим однозарядные противоионы в высокой концентрации. Этим определяется важнейшее свойство ионитов - их способность к регенерации после насыщения ионами, удаляемыми из воды, путем промывки примерно 5-6%-ми растворами кислот (для катионитов) или щелочей (для анионитов) или 10-12%-ыми растворами солей. Именно это свойство позволяет многократно, в течение нескольких лет, использовать загрузку ионитов для очистки воды.

Величина рабочей обменной емкости определяет, как долго может работать ионит в данных условиях до первого проскока поглощаемого иона в фильтрат, а, следовательно, показывает ресурс работы ионита в процессе водоподготовки. Обычно обменную емкость принято выражать в эквивалентах на литр набухшего ионита.

Кинетика ионного обмена определяет скорость протекания ионообменной реакции и, следовательно, требуемую скорость фильтрования. На скорость ионного обмена влияют следующие факторы: доступность фиксированных ионов внутри каркаса ионита, размер гранул ионита, температура, концентрация раствора и т.д.

Общая скорость процесса ионного обмена может быть представлена как совокупность процессов, происходящих в растворе (диффузия противоионов к зерну и от зерна ионита) и в ионите (диффузия противоионов от поверхности к центру зерна ионита и в обратном направлении; обмен противоионов ионита на противоионы из раствора):

В условиях, приближенных к реальным условиям очистки воды, доминирующим фактором, определяющим скорость ионного обмена, является диффузия ионов внутри зерна ионита. Следовательно, скорость ионного обмена, прежде всего, зависит от размера зерна ионита и увеличивается с уменьшением размера зерна.

В зависимости от природы матрицы различают неорганические и органические иониты. [17]

**3. Виды ионитов**

**3.1 Органические иониты**

Органические иониты - это в основном синтетические ионообменные смолы. Органическая матрица изготавливается путем поликонденсации мономерных органических молекул, таких как стирол, дивинилбензол, акриламид и т.д. В эту матрицу химическим путем вводятся ионогенные группы (фиксированные ионы) кислотного или основного типа. Традиционно вводимыми группами кислотного типа являются -СООН; -SО3Н; -РО4Н2 и т.п., а основного типа: ≡N; =NH; -NH2; -NR3+ и т.п. Современные ионообменные смолы, как правило, обладают высокой обменной ёмкостью и стабильностью в работе.

Иониты способны к набуханию в воде, что обусловлено присутствием гидрофильных фиксированных групп, способных к гидратации. Однако беспредельному набуханию, т.е. растворению, препятствуют поперечные связи. Степень поперечной связанности задается при синтезе ионитов через количество вводимого сшивающего агента - дивинилбензола (ДВБ). Стандартные смолы, используемые для умягчения, содержат 8% ДВБ. Доступные в настоящее время смолы могут содержать от 2 до 20%. В целом степень набухания ионитов определяется количеством сшивки ДВБ, концентрацией гидрофильных ионогенных групп в объеме зерна ионита и тем, какие противоионы находятся в ионите. Обычно однозарядные ионы, особенно ионы водорода и гидроксила, приводят к наибольшему набуханию; многозарядные противоионы приводят к некоторому сжатию и уменьшению объема зерен.

На данный момент ионообменные смолы выпускаются в двух модификациях: гелевые и макропористые.

Гелевые смолы представляют собой гомогенные поперечносвязанные полимеры. Фиксированные ионы равномерно распределены по всему объему полимера. При небольшом содержании сшивки, они обладают высокой обменной емкостью, однако характеризуются невысокой прочностью. При увеличении содержание сшивки повышается прочность, но уменьшается набухание и замедляется скорость обмена.

Макропористые смолы характеризуются фиксированной системой пор и каналов, которая задается во время синтеза, что позволяет вводить большое количество ДВБ для повышения механической устойчивости без замедления кинетики обмена. Однако при этом сокращается обменная емкость, так как доступными для обмена оказываются только фиксированные ионы на стенках пор - это 10-30% всего полимера.

Особого внимания заслуживают монодисперсные смолы, которые в отличие от стандартных полидисперсных смол характеризуются постоянным диаметром гранул с отклонением не более 50 мкм (полидисперсность стандартных смол составляет от 0,3 до 1,2 мм). Монодисперсность обеспечивает увеличение скорости ионного обмена, так как время диффузии ионов во всех гранулах одинаково, что приводит к увеличению рабочей обменной емкости. Кроме того, особый метод синтеза монодисперсных смол обеспечивает увеличение механической прочности. [17]

**3.2 Неорганические иониты**

Неорганические иониты - это в основном иониты природного происхождения, к которым относятся алюмосиликаты, гидроксиды и соли поливалентных металлов. Наиболее распространенными и применяемыми для очистки воды неорганическими природными ионитами являются цеолиты.

Цеолиты - это минералы из группы водных алюмосиликатов щелочных и щелочноземельных элементов, которые характеризуются наличием трехмерного алюмокремнекислородного каркаса, образующего системы полостей и каналов, в которых расположены щелочные, щелочноземельные катионы и молекулы воды. Общий объем системы полостей и каналов цеолита составляет до 50% объема каркаса цеолита. Катионы и молекулы воды слабо связаны с каркасом и могут быть частично или полностью замещены путем ионного обмена и дегидрации. Ионообменные свойства цеолитов определяются особенностями химического сродства ионов и кристаллической структуры цеолита. При этом необходимо соответствие размеров входных отверстий в цеолитовый каркас и замещающих ионов, т.к. каркас цеолита имеет жесткую кристаллическую структуру и в отличие от органических смол не может набухать с изменением объема.

Ионным обменом на цеолитах удается выделять ионы, извлечение которых другим методом часто представляет большую сложность. Установлена способность цеолитов адсорбировать радиоактивные ионы цезия из растворов, удалять NH4+, извлекать ионы Cu, Pb, Zn, Cd, Ba, Co, Ag и других металлов, очищать природные газы. Ионоситовый эффект позволяет адсорбировать из газовых и жидких систем пары азота, CO2, SO2, H2S, Cl2, NH3. Кроме этого, цеолиты могут быть использованы для удаления растворенного железа, марганца и жесткости.

В отличие от органических смол существует ряд особенностей цеолитов. Так, общая минерализация обрабатываемой воды должна быть не менее 80 мг/л, так как при меньшем содержании солей происходит растворение алюмосиликатного каркаса цеолита. При рН обрабатываемой воды ниже 6 также возрастает вероятность разрушения кристаллической решетки.

Динамическая обменная емкость цеолитов ниже динамической обменной емкости органических смол в тех же условиях, что связано с более медленной кинетикой обмена на цеолитах. Остаточная жесткость воды после цеолитов составляет около 0,3 мг-экв/л, тогда как после органических смол - не более 0,1 мг-экв/л. [17]

4. Ионообменная адсорбция

Ионообменная адсорбция — широко распространенный вид адсорбции сильных электролитов. Ионообменной адсорбцией называют процесс, в котором адсорбент и раствор обмениваются между собой в эквивалентных количествах одноименно заряженными ионами:

RM, + MJ -» RM2 + М+ или RA, + AJ -> RA2 + Af

где RM,, RA, — адсорбенты, содержащие катионы М, или анионы А, и способные к обмену соответственно с катионом М2 и анионом А2 в растворе. Они получили название ионитов. Это твердые природные или синтетические вещества, практически нерастворимые в воде и органических растворителях.

Иониты обладают сетчатой структурой (каркас, матрица) (рис. 19.20).

В сетке закреплены группы атомов R1, несущих положительный или отрицательный заряд (фиксированные ионы). Этот заряд компенсируется так называемыми противоионами (М' или А"). Фиксированные ионы вместе с подвижными противоионами (R~M\* или R\*A") называют ионогенными или функциональными группировками ионита.

По типу ионогенных групп иониты делят на катиониты R~M\* (кислотные иониты, обменивающие катион) и аниониты R\*A\* (основные иониты, обменивающие анион).

Ионит, помещенный в воду или водный раствор, поглощает значительное количество воды (иногда до 50%), увеличиваясь при этом объеме. Поглощенная вода гидратирует ионогенные группы и вызывает их ионизацию. По степени ионизации ионогенных групп иониты делят на сильно- и слабокислотные катиониты и сильно- и слабоосновные аниониты.

Сильнокислотные катиониты в качестве ионогенных групп содержат остатки серной, фосфорной и других кислот. Слабокислотные — карбоксильные, меркапто- и другие группы. Ионогенные группы сильнооснбвных анио-нитов представляют собой обычно группы аммониевых или сульфониевых оснований, а слабоосновные — аминогруппы различной степени замещения, пиридиновые основания.

Зерно катионита можно рассматривать как гигантский поливалентный анион, отделенный физической поверхностью раздела от окружающей среды. Внутренняя часть такого поливалентного аниона пропитана раствором, содержащим большое число ионов водорода (или других катионов), способных обмениваться на катионы, находящиеся в жидкости, окружающей зерно катионита. Зерно анионита можно рассматривать как гигантский поливалентный катион, противоионами которого являются гидроксильные ионы (или другие анионы), способные обмениваться на анионы. [17]

Ионный обмен — обратимый процесс, что дает возможность регенерировать использованные иониты. Регенерацию катионитов производят обычно промыванием раствором какой-либо кислоты, анионита — раствором щелочи.

Для характеристики ионитов важно знать поглощающую способность ионита, которую характеризуют обменной емкостью: обменная емкость измеряется количеством вещества ионов, поглощенных 1 г сухого ионита из раствора в равновесных условиях.

Иониты широко используют как катализаторы реакций этерификации, гидратации и дегидратации; для обессоливания воды; для очистки сточных вод; в ионообменной хроматографии; для выделения и очистки аминокислот. [17]

5. Ионный обмен

Ионный обмен представляет собой процесс взаимодействия раствора с твердой фазой, обладающей свойством обменивать ионы, содержащиеся в ней, на другие ионы, присутствующие в растворе. Вещества, составляющие твёрдую фазу, носят название - ионитов. Они практически не растворимы в воде. Те из них, которые способны поглощать из растворов электролитов положительные ионы, называются катиониталш (проявляют кислотные свойства), отрицательные ионы - анионитами (проявляют основные свойства). Если иониты обменивают и катионы и анионы, их называют амфотерными (проявляют кислотные и основные свойства).

Иониты бывают неорганические (минеральные) и органические. Это могут быть природные вещества или вещества, полученные искусственно.

Органические природные иониты - это гумиповые кислоты почв и углей. К органическим искусственным ионитам относятся ионообменные смолы с развитой поверхностью, которые представляют собой высокомолекулярные соединения, углеводородные радикалы которых образуют пространственную сетку с фиксированными на ней активными ионообменными функциональными группами. Пространственная углеводородная сетка (каркас) называется матрицей, а обменивающиеся ионы - противоионами. Каждый противоион соединён с противоположно заряженными ионами, называемыми фиксированными или анкерными. Полимерные углеводородные цепи, являющиеся основой матрицы, связаны (сшиты) между собой поперечными связями, что придаёт прочность каркасу.

В зависимости от степени диссоциации различают следующие виды ионитов:

-Сильнокислотные катиониты, содержащие сульфогруппы SO3H или фосфорнокислые РО(ОН)2 группы и сильноосновые аниониты, содержащие четвертичные аммониевые основания R3NOH;

-слабокислотные катиониты, содержащие карбоксильные COOH и фенольные C6H5OH группы, диссоциирующие при pH<7, а также слабоосновные первичные NH2 и вторичные NH аминогруппы, диссоциирующие при pH>7.

В зависимости от противоиона, которым насыщена ионообменная установка, различают: H-форму, Na-форму, Ca-форму и др. для катионов и соответственно OH-форму, Cl-форму и др. для анионитов.

Основные требования к анионитам, используемым для очистки сточных вод, следующие:

-высокая обменная ёмкость;

-хорошие кинетические свойства (высокая скорость ионного обмена);

-достаточная устойчивость по отношению к кислотам, щелочам, окислителям и восстановителям;

-нерастворимость в воде, органических растворителях и растворах электролитов;

-ограниченная набухаемость.

Важнейшим свойством ионитов является их поглотительная способность, которая характеризуется обменной ёмкостью и определяется количеством грамм-эквивалентов ионов, поглощаемых единицей массы или объёма ионита. Различат полную, статическую, и динамическую обменные ёмкости. Полная ёмкость – это количество поглощаемого вещества. Статическая ёмкость - это обменная ёмкость ионита при равновесии в данных рабочих условиях. Статическая обменная ёмкость обычно меньше полной. Динамическая обменная ёмкость — это ёмкость ионита до "проскока" ионов в фильтрат, определяемая в условиях фильтрации. Динамическая ёмкость

Если катиониты находятся в Н-форме или Na-форме, то обмен катионов будет проходить по реакциям:

Ме+ + Н[К] = Ме[К] + Н+

Ме+ + Na[K] = Ме[К] + Na+,

где [К] - комплекс катионита; Me+ - катион металла, находящийся в сточной воде

Слабоосновные аниониты обменивают анионы сильных кислот:

2A[OH] + H2S04 <->[A]2S04 + H2O

Где [A] - комплекс анионита

Характерной особенностью ионитов является их обратимость, т.е.достигается проведением реакции ионного обмена в обратном направлении. Этот процесс носит название регенерации. Регенерационные растворы называют элюатами.

Катиониты обычно регенерируют 2-8% растворами кислот (при переводе в Н-форму) или раствором хлористого натрия (при переводе Na-форму):

2Ме[К] + H2S04 =2Н[К] + Me2S04

**6. ИОНООБМЕННЫЕ УСТАНОВКИ СЕРИИ SF**

Ионообменные установки серии SF предназначены для очистки воды методом ионного обмена (умягчение, декарбонизация, обессоливание, удаление сульфатов и нитратов, удаление цветности воды, обусловленной наличием гуминовых и фульвокислот, очистка стоков от тяжелых металлов и т.д.).

Корпуса фильтров выполнены из полиэтилена с наружной оплеткой из стеклопластика или из стали с внутренним полимерным покрытием, обеспечивающим эффективную защиту фильтров от коррозии в любых средах, в том числе в соляной и серной кислотах.

Металлические фильтры поставляются с диаметром корпуса до 3000 мм, пластиковые – до 2000 мм. Стандартная высота цилиндрической части фильтров – от 1100 до 2000 мм. Металлические фильтры могут изготавливаться с любой высотой цилиндрической части по желанию заказчика, в том числе многосекционные с несколькими ложными днищами, что позволяет подбирать фильтры индивидуально для конкретной задачи.

Рабочее давление воды – до 6 кг/см 2; по желанию заказчика могут поставляться фильтры, рассчитанные на давление до 10 кг/см 2.

Поставляются фильтры как для процессов с прямоточной регенерацией ионита, так и для противоточных процессов ( Packed Bed, UPCORE, Reverse Amberpack и др.). Преимущество противоточных фильтров перед прямоточными – на порядок более эффективное удаление ионов при меньших расходах ионитов и реагентов.

В комплекте с фильтрами SF поставляются ионообменные материалы производства фирм Dow CHEMICAL, Rhom & Haas, Purolite.

Управление работой фильтров может осуществляться вручную или автоматически.

В последнем случае применяются многоходовые клапаны с электромеханическим ( FLECK, CLACK) и гидравлическим ( Siata) приводом, дисковые поворотные затворы с электро- или пневмоприводом ( GEORGE FISCHER, DANFOSS, VAN DE LANDE), клапаны с пневмоприводом ( GEORGE FISCHER).

Работа клапанов или приводной запорной арматуры контролируется программным устройством, позволяющим запрограммировать частоту регенерации и продолжительность ее стадий. Контроллер дает возможность интегрировать фильтры в единую систему автоматики водоочистного комплекса, в том числе с компьютерным управлением.

Варианты программирования регенерации: по таймеру, по объему пропущенной воды, по жесткости или электропроводности воды.

На объектах с 24-часовым циклом производства применяются установки непрерывного действия. Они состоят из нескольких параллельно включенных фильтров SF, объединенных в систему при помощи единого контроллера. Обычно один фильтр в такой системе постоянно находится в режиме ожидания или регенерации.

Установки непрерывного действия серии SF-A с блоками управления FLECK используются для умягчения воды. Они состоят из двух ионообменных фильтров с общим блоком управления и бака-солерастворителя для приготовления раствора поваренной соли.

Установки непрерывного действия серий SF-D, SF-X, SF-Q состоят соответственно из двух, трех и четырех фильтров. Они могут поставляться с любыми блоками управления и контроллерами, в зависимости от производительности и вида ионообменного процесса.

Дренажные устройства фильтров серии SF изготавливаются в виде щелевых лучей или ложных днищ с щелевыми колпачками. Материал дренажей – полипропилен или нержавеющая сталь.

Установки серии SF комплектуются реагентным хозяйством. В простейшем случае это баки для автоматического приготовления раствора поваренной соли. В более сложных случаях реагентный узел может включать растворные баки, перемешивающие устройства, механические фильтры, насосы, контрольно-измерительные приборы (например, солемер) и средства автоматики.

**7. Современные бытовые и промышленные ионообменные фильтры водоподготовки**

Все бытовые ионообменные установки водоподготовки выполнены с прямотоком фаз. Данные фильтры имеют корпуса из пластика или нержавеющей стали и снабжаются блоками управления с многоходовыми клапанами-распределителями. Насыщенный раствор соли готовится в дополнительной емкости-солерастворителе, устанавливаемой рядом с фильтром. В фильтрах диаметром до 1 м блок управления и многоходовой клапан с электроприводом расположены в едином корпусе, устанавливаемом непосредственно на корпус фильтра либо рядом с ним. Для больших аппаратов используется блок управления с пневматическим или гидравлическим выходом и многоходовой клапан, устанавливаемый рядом с корпусом фильтра.

Блок управления содержит счетчик воды либо таймер, который дает сигнал к началу регенерации ионообменной смолы, программно-временное устройство, задающее последовательность и продолжительность проведения операций, а также силовой электропривод, двигающий клапан-распределитель. Бесспорно, что для ионного обмена оптимально включение режима регенерации ионообменной смолы по объему пропущенной воды. Блоки с таймером, как более дешевые, могут применяться только для бытовых целей.

Работа ионообменного фильтра состоит из следующих операций:

-очистка воды (сервисный режим);

-взрыхление;

-засос соли из солерастворителя – регенерация ионообменной смолы;

-медленная отмывка ионообменной смолы от регенерационного раствора;

-быстрая отмывка в сервисном режиме;

-заполнение солерастворителя умягченной водой.

Распределительные устройства (дренажи) аналогичны используемым в механических фильтрах.

**7.1 Фильтры непрерывного действия**

Фильтры непрерывного действия характеризуются тем, что все процессы водоподготовки (очистка воды, взрыхление, регенерация ионообменной смолы, отмывка) проводятся одновременно, каждый в своем аппарате. Ионообменная смола непрерывно или порциями перемещается из аппарата в аппарат. Тип и размеры каждого аппарата оптимизированы для проводимого в них процесса.

Фильтры непрерывного действия бывают со сплошным и псевдоожиженным слоем сорбента. В СССР в урановом и золотоизвлекающем производствах с середины 50-х гг. широко применялись установки непрерывного ионного обмена, использующие каскады аппаратов смешения. В 70-е гг. они стали заменяться противоточными колоннами со сплошным (КНСПР, КДС, ПСК-НР и т.п.) и псевдоожиженным слоем ионообменной смолы (ПСК, ПСК-Т). В аппаратах со сплошным слоем раствор и сорбент подается в реакционную зону и выводится поочередно, порциями. Частота перемещения сорбента зависит от содержания компонента в растворе. Для малоконцентрированных растворов соотношение расходов раствора и ионообменной смолы может составлять десятки и сотни раз. Колонны с псевдоожиженным слоем используют специальные распределительные тарелки КРИМЗ и низкочастотную, около 1 Гц, пульсацию, т.е. вертикальные колебания раствора. Тарелки и пульсация обеспечивают высокую интенсивность массообмена и равномерное распределение фаз по сечению даже очень крупных аппаратов. Такие колонны применяются для регенерации и отмывки ионообменных смол смол от регенерирующего раствора. Колонны с так называемой транспортной пульсацией наиболее эффективны для процессов переработки малоконцентрированных растворов, в том числе при наличии механических взвесей.

Для очистки радиоактивных сточных вод (по солесодержанию аналогичны природной воде) методом обессоливания разработаны установки со смешанным слоем ионообменных смол, которые позволяли при удельной производительности 40–50м3 /м2 ·ч в одном фильтре обессоливать воду до удельной электропроводности около 1 мкСм/см.

В промышленности эксплуатировались установки водоподготовки единичной производительностью до 300м3 /ч с колоннами диаметром до 3,4 м.

Для очистки воды используются фильтры со сплошным слоем ионитов, для отмывки ионообменных смол от взвеси и регенератов – с псевдоожиженным. Регенерация смолы может осуществляется и в сплошном, и в псевдоожиженном слое. Все фильтры работают непрерывно с противоточным движением фаз.

Высокая эффективность противоточных колонн позволяет обходиться без паразитных потоков промывных вод. Все воды от отмывки ионообменной смолы от регенерационного агента доукрепляются им и подаются в колонны регенерации.

Установки водоподготовки такого типа имеют существенно более высокие показатели, чем фильтры периодического действия: удельная производительность (скорость раствора) может достигать 50–70м3 /ч, единовременная загрузка ионообменной смолы сокращается в 5–15 раз, а объем регенератов в 1,5–2,5 раза. Они сложнее периодических, требуют использования автоматики и управляемых вентилей. Их целесообразно использовать при производительности более 30–50м3 /ч в экологически чистых технологиях водоподготовки, когда регенераты подвергаются дальнейшей переработке.

В качестве примера на рис.3 показана схема установки производительностью 300–500м3/ч для водоподготовки подпитки умягчением вод, содержащих значительное количество взвесей. Она была создана на ТЭЦ Лисичанского НПЗ (Украина) в 90–91 гг., но в силу известных причин не была пущена в эксплуатацию. Установка водоподготовки состоит из сорбционной колонны 1 диаметром 3,4 м со сплошным слоем сорбента, колонны 2 для отмывки сорбента от извлеченных из исходного раствора взвесей, диаметром 0,6 м с псевдоожиженным слоем сорбента, регенерационно-промывной колонны 3 диаметром 0,6 м со сплошным слоем, и колонны 4 диаметром 0,6 м с псевдоожиженным слоем для окончательной отмывки от соли.

Вода подается снизу сорбционной колонны 1 , проходит через слой катионита и умягчается. Катионит насыщается в сорбционной колонне и порциями по 0,5м3 выводится из сорбционной колонны в промывную 2 . В ней он свободно опускается в потоке поднимающейся промывной воды, а затем перемещается в колонну регенерации 3 . В регенерационной колонне катионит постепенно опускается, двигаясь навстречу поднимающемуся сначала регенерационному раствору, а затем промывной воде, которая вводится снизу колонны.

**7.2 Ионитовые противоточные фильтры для умягчения и обессоливания воды**

В большинстве случаев ионообменный метод обработки воды обеспечивает необходимые параметры качества умягчения и/или деминерализации воды в промышленных условиях. Показатели экономической эффективности и экологичности ионного обмена напрямую зависят от выбора технологии регенерации ионитов, применяемой при эксплуатации.

Сравнение технологий с прямоточной (параллельноточной) регенерацией с противоточными свидетельствует о предпочтительности применения последних, в силу того, что при противотоке достигается более высокое качество обработанной воды при более низких значениях удельных расходах реагентов с использованием меньшего количества единиц установленного оборудования.

Ключевыми факторами, характеризующими эффективность регенерации и процесса ионного обмена в целом, являются:

удельные расходы химических реагентов

объемы потребления воды на собственные нужды

По указанным выше показателям приоритет принадлежит технологическим процессам, в которых реализуется принцип «зажатого слоя» ионита, при котором практически весь рабочий объем фильтра заполняется слоем активной смолы.

Технологии, основанные на «зажатом слое», различаются между собой по:

-надежности функционирования в широком диапазоне изменения рабочих нагрузок;

-толерантности к недостаткам предочистки (допустимому количеству взвесей, присутствующих в обрабатываемой воде);

-простоте конструктивных решений основного оборудования.

Технология UPCORE (АПКОРЕ), разработанная компанией The Dow Chemical Company, а также ее модификации в наибольшей степени отвечают современным требованиям, предъявляемым к процессам противоточной регенерации ионитов. Ее применение позволяет потребителю обеспечивать высокое качество обработки при минимальных значениях расходов реагентов и потребления воды на собственные нужды, простоте реализации и удобстве в эксплуатации в сочетании со стабильностью рабочих показателей в широчайшем диапазоне нагрузок и беспрецедентной для противоточных процессов с зажатым слоем устойчивостью к присутствию взвешенных веществ в исходной воде. [18]

**8. ОБОРУДОВАНИЕ ИОНООБМЕННЫХ УСТАНОВОК**

Оборудование, предназначенное для очистки природных и сточных вод от растворов, примесей, а также обессоливания и опреснения воды. Оно включает: ионообменные фильтры с обработкой воды в плотном или псевдоожиженном слое ионита; пульсац. колонны или резервуары с механич. или пневматич. перемешиванием для контактирования ионитов с водой. В фильтрах с плотным слоем загрузки в нижней части имеется днище с дренажным устройством, позволяющим пропускать только воду и задерживать твердые частицы ионита. Верхняя часть фильтра снабжена распределительным устройством для подачи и равномерного распределения воды по всему его сечению. Зернистый ионит загружают в фильтр в набухшем состоянии. Вода, подаваемая сверху вниз, проходит через слой ионита и дренаж с заданной скоростью до проскока извлекаемых примесей. При появлении примесей в фильтрате процесс очистки воды приостанавливают, чтобы восстановить первоначальное рабочее состояние ионита, т.е. регенерировать его. Процесс регенерации ионитов осуществляется пропусканием регенерирующего агента через фильтр прямотоком (сверху вниз) или противотоком (снизу вверх). После регенерации иониты отмывают от избытка регенерирующего агента и продуктов регенерации. Отмытые иониты используют для очистки следующей порции сточной воды. Цикл — фильтрация воды, регенерация и отмывка ионита — многократно повторяется. В практике очистки и обсссоливания сточных вод наиболее распространены ионообменные натрий- и водород-катионитовые фильтры: параллельно-точные типа ФИПа 1-2,0-6, ФИП-1 -2,6-6, ФИП-1-3,0-6, ФИП-1-3,4-6.

При глубокой очистке и обессиливании сточных вод после очистки с целью корректирования значения рН применяют фильтры смешанного действия (ФСД), в к-рые загружают смесь анионита и катеонита. При этом используют катиониты и аниониты с различными плотностями. На обоих концах таких фильтров предусмотрены дренажные устройства, а в середине — спец. коллекторные патрубки для введения регенерац. растворов и отмывочной воды. Фильтры смешанного действия бывают двух видов: с внутренней и выносной регенерацией. В комплект оборудования ФСД с выносной регенерацией входят, кроме рабочих фильтров, еще два регенератора. Один из них оборудован верхним, нижним и средним распределит, устройствами , другой этих устройств не имеет. Наличие двух регенераторов позволяет проводить совместную регенерацию кати-онита и анионита в одном регенераторе и раздельную в каждом из них. Преимущество очистки или обессоливания сточных вод в ФСД по сравнению с процессами катионирования и анионирования в раздельных фильтрах заключается в том, что использование рабочей обменной емкости в ФСД достигает 80—90%, тогда как в раздельных фильтрах — 60—65%. Процесс ионного обмена осуществляется при протоке очищаемой воды через смешанный слой ионитов. После проскока катионов или анионов производится раздельная регенерация катионита и анионита соответственно растворами к-ты и щелочи. Процесс регенерации может происходить только после разделения ионитов, для чего снизу вверх подается вода под большим давлением. При этом ионит с меньшей плотностью (анионит) поднимается в верхнюю часть фильтра, а с большей (катионит) остается в его нижней части. Затем через катионит снизу вверх пропускают раствор к-ты до зоны анионита, а через анионит сверху вниз — раствор щелочи. Регенерирующие растворы через анионит и катионит можно пропускать одновременно или поочередно и выводить через средние коллекторы. После окончания регенерации производятся предварит, отмывка ионита обессоленной водой, перемешивание ионитов сжатым воздухом — снизу вверх и окончат. отмывка ионитов потоком обессоленой воды сверху вниз. После отмывки фильтр включается в работу в следующем цикле.

Процесс очистки и обессоливания воды можно осуществить непрерывно (нециклично). В этом случае вместо фильтров используют пульсационные колонны (ПСК). Существует несколько типов ПСК: противоточные с псевдоожиженным слоем; прямоточные с псевдоожиженным слоем; прямоточные со сплошным слоем. Пульсация раствора необходима для равномерного распределения ионита в воде и по сечению ПСК и их перемешивания. Установка непрерывного ионного обмена состоит из неск. ПСК, каждая из к-рых предназначена для проведения одного технологич. процесса: ионного обмена, регенерации, промывки. Поскольку очистка и обессоливание сточных вод обеспечиваются последоват. их катионированием и анионированием, то полная схема такого процесса включает две установки, в одной из к-рых циркулирует катионит, а в другой — анионит. При применении ПСК в 5—20 раз сокращается необходимое колличество ионита и уменьшаются габариты установки, кроме того, появляется возможность (особенно при противотоке) получить стабильные высокие концентрации извлекаемых в-в из регенерац. растворов, сократить расход промывных вод, упростить схему регулирования и полностью ее автоматизировать.

Значительно меньшее распространение в практике ионообменной очистки и обессоливания сточных вод имеет статич. метод — без протока очищаемой воды. В статических условиях процесс очистки растворов и извлечения из них в резервуарах, куда помещаются иониты — раздельно катионит и анионит. Преимущество статич. методов состоит в относительно простом аппаратурном оформлении — процесс проводится в емкостях, оборудованных перемешивающими устройствами.

Для очистки и обессоливания сточных вод применяют комплектные обессоливающие установки УЦ-2, УЦ-10, УЦ-25, произ-стыо 2; 10; 25 м/ч. Их можно использовать для обработки сточных вод, не содержащих органич. веществ и значит, количеств железа, т.к. в их составе отсутствует узел предварительной очистки воды. Помимо установок непосредственно предназнач. для ионного обмена (ионообменные фильтры, ПСК), в составе ионообменных установок должны быть емкости для хранения реагентов и очищенной воды, приготовления регенерирующих растворов, мерники и дозаторы реагентов, приборы для автоматизации процессов. Емкостное оборудование подбирают в зависимости от произ-сти установки, частоты регенерации загрузки фильтров и ПСК и др. условий. Для защиты от коррозии внутр. поверхности корпусов ионообменных аппаратов и емкостей либо гуммируют, либо покрывают кислотостойкими смолами и лаками. Гуммиров. емкости вместимостью 0,25—1 и 1—40 м серийно выпускаются. Нижние распределит, устройства трубчатого типа ионообменных фильтров, крепежные детали внутри корпуса и др. арматуру изготовляют из нержавеющей стали; верхние распределительные устройства — из полиэтилена. [18]

**8.1. Противоточная регенерация ионообменных смол для водоподготовки**

Рассмотрены основные технологии противоточной регенерации ионообменных смол периодического действия, применяемые в установках водоподготовки в мировой практике. Изложена хронология их появления на рынке, дан анализ достоинств и недостатков.

В последние 15 лет в России и странах СНГ среди специалистов служб эксплуатации установок водоподготовки (ВПУ) все большую популярность приобретают современные технологии водоподготовки — мембранные методы разделения (микро-, ультрафильтрация, нанофильтрация, обратный осмос) в сочетании с противоточным ионированием и(или) электродеионизацией.

Первым этапом модернизации установок водоподготовки стал переход от прямоточной (параллельно-точной) регенерации ионообменных смол (ионитов) к противоточной. Этому способствовали как активное распространение мирового опыта применения схем противоточной регенерации зарубежными производителями ионообменных смол ( Dow Chemical , Bayer , Rohm & Haas , Purolite ), так и переход стран бывшего СССР к рыночной экономике, что заставило производителей оборудования [ОАО ТКЗ «Красный котельщик» (г. Таганрог), АО ЗиОМАР (г. Подольск), ОАО «Комсомолец» (г. Тамбов), ОАО Бердичевский машиностроительный завод «Прогресс»] расширять привычную номенклатуру изделий и осваивать выпуск фильтров с противоточной регенерацией ионообменной смолы.

Наиболее широкое распространение получили технологии водоподготовки периодического действия (непрерывные процессы представляют собой отдельную тему и в данной публикации не рассматриваются).

По оценкам зарубежных производителей ионообменных смол, в мире работают более 5 тыс. установок промышленной водоподготовки по технологиям противоточной регенерации (примерно 4 тыс. — по SCHWEBEBETT , около 700 установок водоподготовки— по UPCORE и около 600 приходится на долю всех остальных технологий водоподготовки). Часто на страницах научно-технических изданий [1—9], а также на семинарах и конференциях возникают дискуссии о возможностях или преимуществах той или иной противоточной технологии. Каждая сторона, участвующая в обсуждении, стремится доказать, что оптимальной является именно та технология, которая была данной стороной разработана (или применяется). Отдельные публикации, касающиеся сравнения эффективности различных технологий, хотя и являются достаточно объективными, но либо носят частный характер (для конкретных условий эксплуатации [2]), либо ограничиваются констатацией самых общих положений [1, 3, 8, 9], не содержат глубокого анализа и потому не могут претендовать на универсальность оценок.

К сожалению, в последнее время участились случаи, когда некоторые специалисты (в том числе и зарубежные) распространяют недостоверные сведения или публикуют статьи, служащие образцом некомпетентности, например [10].

Цель настоящей статьи состоит в проведении всестороннего анализа наиболее распространенных противоточных технологий водоподготовки (на основании изучения предпосылок их возникновения и направлений развития за последние 50 лет) и определении условий и задач, для которых возможно осуществить оптимальный выбор.

В общем случае противоточные технологии водоподготовки различаются по эксплуатационно-экономическим показателям:

степени сложности обслуживания (особенно при ручном управлении);

интервалу значений рабочей нагрузки (от 0 до максимально допустимой), в котором обеспечивается работоспособность схемы водоподготовки;

коэффициенту использования полезного объема фильтра (доля объема активной ионообменной смолы в общем объеме фильтра);

степени жесткости требований, предъявляемых к качеству предочистки воды, направляемой на ионитную часть (например, по толерантности к присутствию взвешенных твердых веществ в обрабатываемой воде);

потреблению воды на собственные нужды;

возможности корректировки объема загрузок ионообменной смолы при изменении характеристик источника водоснабжения или метода предочистки;

стоимости основного и вспомогательного оборудования водоподготовки (фильтров, насосов и пр.).

Другими словами, противоточные технологии различаются по объему капитальных затрат при создании установки промышленной водоподготовки и расходам на ее эксплуатацию.

При сравнении с прямоточной (параллельно-точной) технологией регенерации ионообменной смолы любая противоточная (при условии грамотной реализации!) обеспечивает сокращение потребления (удельных расходов) реагентов на регенерацию, повышение качества обработанной воды и снижение ее потребления на собственные нужды (за исключением схем с гидравлической блокировкой).

Рис. 1. Схема фильтра (классический вариант прямоточной технологии). [19]

ИВ — исходная вода; OS — обработанная вода; Р — реагент

В подавляющем большинстве случаев при солесодержании исходной воды до 15 мг-экв/л применение одноступенчатого противотока ( Na -катионирований или цепочки Н-ОН) позволяет гарантировать в обработанной воде остаточную жесткость ниже 5 мкг~экв/л (или электропроводность менее 2 мкСм/см) в сочетании с приемлемым удельным расходом реагентов, рассчитанным на основании стехиометрических соотношений: 120...140 % для NaCI и HCI ; 150...190 % для H2S04 и 120... 160% для NaOH. Однако в некоторых публикациях (например в [11]) приводятся значения электропроводности 6...35 мкСм/см, полученные при использовании одноступенчатой схемы водоподготовки. Подобные результаты свидетельствуют (с высокой степенью вероятности) о непреднамеренных ошибках, допущенных признанными специалистами при реализации конкретной технологии противоточной регенерации.

Рассматриваются противоточные схемы водоподготовки для деминерализации воды, основанные на цепочке, состоящей из двух фильтров (Н—ОН), и история возникновения и развития технологий противоточной периодической регенерации ионообменной смолы в области водоподготовки.

Ключевым фактором, определяющим успешную реализацию любого противоточного процесса, является обеспечение сохранности слоя ионообменной смолы в «зажатом» состоянии, без внутрислойного (продольного или осевого) перемешивания, как в режиме рабочего цикла, так и при проведении регенерации .

Классическим примером реализации процесса деминерализации или умягчения воды посредством ионного обмена является упрощенная схема, показанная на рис. 1. Обрабатываемая вода проходит сверху вниз последовательно через фильтры, загруженные катионитом (обычно сильнокислотным в Н-форме, при умягчении воды — в Na ) и анионитом (например, сильноосновным в ОН-форме). При этом объем активной ионообменной смолы составляет не более чем 60 % (часто — около 50 %) внутреннего объема фильтра. При проведении регенерации направление подачи реагентов совпадает с направлением подачи обрабатываемой воды (сверху вниз). Поэтому данная технология регенерации ионообменной смолы называется прямоточной (или параллелькоточной). Ее достоинства и недостатки общеизвестны. Однако необходимо отметить, что она обладает следующими положительными качествами: возможностью изменения рабочей нагрузки в широком диапазоне значений, свободой чередования технологических остановов с возобновлением рабочего цикла, возможностью удаления из слоя монообменной смолы загрязнений, накопленных во время работы, и фрагментов зерен смолы, образовавшихся при ее разрушении в процессе эксплуатации (благодаря операции взрыхления слоя ионообменной смолы, осуществляемой в каждом цикле), предотвращением каналообразования в слое загрузки и, наконец, исключительной простотой конструкции фильтров.

Рис. 2. Схема конструкции фильтра с гидравлической блокировкой слояионообменной смолы. [19]

ВБ — вода для блокировки; другие обозначения см. рис. 1

Преимущества противоточной регенерации перед прямоточной уже отмечались ранее, однако для ее реализации необходимо было решить техническую задачу по обеспечению «зажатого» состояния слоя ионообменной смолы и постараться сохранить при этом все достоинства, присущие прямоточной технологии водоподготовки.

Первыми противоточнымн технологиями, появившимися на рубеже 50—60-х годов прошлого века, были такие, в которых «зажатие» слоя ионообменной смолы при регенерации осуществлялось подачей дополнительного потока воды, направленного сверху вниз, навстречу потоку реагента. Такие технологии получили название «противоточные технологии с гидравлической блокировкой (зажатием) слоя» (рис. 2). В рабочем цикле обрабатываемая вода подается c вepxy вниз через распределительное устройство, расположенное в верхней части фильтра (на схеме не показано), проходит через слой ионообменной смолы и инертный материал и через нижнее распределительное устройство выводится фильтра. Слой ионообменной смолы заполняет до 60 % объема цилиндрической части фильтра. Среднее дренажное устройство либо заглублено в слой ионообменной смолы своими распределительными элементами, либо размещается целиком в верхнем слое ионитовой загрузки. При регенерации поток реагента подается снизу вверх, (для обеспечения «зажатого» состояния слоя через верхнее распределительное устройство сверху вниз навстречу потоку реагента) подается дополнительный блокирующий поток воды. Оба потока выводятся из фильтра через среднее распределительное устройство. Очевидно, что расход воды в блокирующем потоке должен существенно превышать расход воды в потоке реагента (иначе слой ионообменной смолы разуплотнится и будет перемешиваться). Этим обстоятельством определяется значительное потребление воды на собственные нужды . В то же время данная схема водоподготовки позволяет выбрать способ взрыхляющей промывки: либо всего слоя загрузки (с обязательной последующей двойной регенерацией), либо только верхних слоев ионообменной смолы (при подаче воды на взрыхление через среднее распределительное устройство, которое заглублено в слой ионита).

Наиболее широко известная и апробированная из отечественных противоточных технологий водоподготовки, предложенная потребителям в конце 80-х — начале 90-х годов прошлого века [5, 7, 12], относится по своему техническому уровню именно к данному (первому) поколению технологий противоточной регенерации ионообменной смолы.

Следующим этапом в развитии противоточной технологии водоподготовки стало применение воздушной (пневматической) блокировки слоя ионообменной смолы, что позволило в значительной степени снизить потребление воды на собственные нужды. Конструкции фильтров, последовательность и тип операций при проведении рабочего цикла и регенерации в технологиях с воздушной блокировкой полностью идентичны соответствующим решениям, применявшимся в схемах с гидравлической блокировкой. Отличие состоит лишь в том, что блокировка слоя ионообменной смолы осуществляется не водой, а подаваемым под давлением с большим расходом потоком воздуха.

Недостатками технологий с использованием блокировки обоих видов являются низкое значение коэффициента использования полезного объема фильтра, сложность регулирования технологических параметров и управления технологическими потоками в процессе регенерации ионообменной смолы (особенно вручную), а несомненными достоинствами — возможность проведения взрыхляющих промывок без перегрузки ионита в дополнительную емкость, а также возможность останова и возобновления работы установки водоподготовки в любой момент рабочего цикла.

Еще одним типом противоточной технологии водоподготовки, реализуемой в фильтрах, конструкция которых представлена на рис. 3, является ECONEX с перемещаемым слоем инертного материала [13]. Особенность конструкции такого фильтра по сравнению со стандартным прямоточным состоит в том, что помимо нижнего распределительного устройства аппарат оснащается еще и верхним. Отличительной чертой этой технологии является наличие в фильтре, над слоем активного ионита, плавающей инертной загрузки, которая обеспечивает «зажатое» состояние слоя ионообменной смолы при проведении регенерации.

Рис. 3. Схема конструкции фильтра с перемещаемым слоем инертного материала. Обозначения см. на рис. 1 [19]

Рабочий цикл проводится в направлении сверху вниз, а регенерация — снизу вверх. В случае необходимости проведения взрыхляющей промывки слой инертного материала удаляется из рабочего фильтра в дополнительную емкость, а после ее завершения возвращается в рабочий фильтр для проведения регенерации (как минимум двойной). Возможность проведения взрыхляющей промывки ионообменной смолы непосредственно в рабочем фильтре является несомненным достоинством рассматриваемой технологии водоподготовки, существенно повышающим ее толерантность к присутствию взвешенных твердых веществ в обрабатываемой воде. К недостаткам можно отнести: низкое значение коэффициента использования полезного объема фильтра, так как значительный объем фильтра заполнен инертной загрузкой; включение в технологическую схему дополнительной емкости для гидроперегрузки ионообменной смолы; сложность автоматизации процесса работы установки из-за необходимости тщательного контроля за отсутствием остатков перегружаемого инертного материала в запорно-регулирующей арматуре; дополнительные расходы воды на собственные нужды и реагентов на проведение двойных регенераций.

Революционным прорывом в противоточных технологиях водоподготовки стала SCHWEBEBETT , разработанная и предложенная к внедрению компанией BAYER в 60—70-е годы прошлого века [14], Впервые было предложено заполнить активной ионообменной смолой практически весь объем фильтра. В его верхней части (непосредственно между ионообменной смолой и верхним распределительным устройством) размещается относительно узкий (до 300 мм высотой) слой плавающего инертного материала, поэтому между смолой и этим материалом остается небольшая зона свободного пространства (необходимая для «дыхания» ионообменной смолы при переходе из одной рабочей формы в другую). По технологии SCHWEBEBETT регенерация ионообменной смолы проводятся сверху вниз, а рабочий цикл - снизу вверх (рис. 4).

Начиная с 70-х годов прошлого века в мире было создано около 4 тыс. промышленных установок водоподготовки для деминерализации воды (с технологической цепочкой; основанной на схеме Н—ОН), использующих технологию SCHWEBEBETT .

Простота проведения регенераций по рассматриваемой технологии не вызывает сомнений, однако в некоторых случаях могут возникать осложнения в режиме рабочего цикла фильтра. Во-первых, чтобы исключить (или по возможности минимизировать) вероятность транспортировки катионитной мелочи (возникающей при разрушении зерен ионообменной смолы в процессе эксплуатации) в фильтр с анионитом, инертный материал подбирался таким образом, чтобы воспрепятствовать выносу из фильтра практически любых дисперсий (взвесей). Во-вторых, вследствие гидроклассификации наиболее крупные (и тяжелые) зерна ионообменной смолы сосредотачиваются в донной части фильтра, а наиболее мелкие (и, соответственно, легкие) — в верхней. В результате в рабочем цикле при подаче исходной воды, содержащей взвеси, снизу вверх взвешенные вещества распределяются по всей высоте слоя ионообменной смолы.

Совокупность изложенных факторов приводит к тому, что взвеси практически не вымываются из фильтра, их количество возрастает от цикла к циклу, что приводит к росту гидравлического сопротивлений фильтра и ухудшению качества регенерации ионообменной смолы.

Чтобы решить эту проблему потребителю необходимо:

либо наладить работу предочистки (например, осветлителей и фильтров) таким образом, чтобы практически исключить присутствие взвесей в воде, поступающей на ионирование (что в условиях России до пос леднего времени или являлось недостижимой мечтой, или требовало резкого увеличения капитальных и/или эксплуатационных затрат на предочистку);

либо периодически очищать ионообменную смолу от взвесей: перегружать ее в дополнительную емкость, проводить взрыхляющую промывку, загружать в технологический фильтр и осуществлять двойную регенерацию (что также приводит к дополнительным затратам реагентов и воды на собственные нужды).

Именно из результатов анализа опыта эксплуатации SCHWEBEBETT был сделан вывод о том, что при использовании противоточной технологии необходимо предъявлять значительно более жесткие требований к качеству предочистки по сравнению с прямоточной.

В третьих, необходимо поддерживать слой ионообменной смолы в «зажатом» состоянии на протяжении всего рабочего цикла. Для этого нужно соблюдать определенное минимальное значение расхода обрабатываемой воды и не допускать произвольных остановов и пусков фильтра в работу.

Специалисты BAYER достаточно быстро осознали недостатки, присущие технологии водоподготовки SCHWEBEBETT . Поэтому в результате работ по ее совершенствованию (с конца 60-х н до начала 80-х годов прошлого века) появились технические решения для противоточной регенерации, запатентованные под названиями UFTBETT , RINSEBETT и MULTISTEP (последняя раз работка предназначалась главным образом для финишной очистки деминерализованной воды). На рис 5 представлены конструктивные особенности фильтров, предназначенных для реализации указанных процессов. Фильтр, применяемый для технологии UFTBETT, представляет собой двухкамерную конструкцию (что увеличивает стоимость его изготовления на 30...50 %), в которой верхняя камера практически полностью заполнена активной ионообменной смолой, а нижняя - не более чем на 50 % полезного объема. В верхних частях обеих камер располагается плавающая инертная загрузка. Обрабатываемая вода поступает сначала в нижнюю, а затем в верхнюю камеры. Регенерация осуществляется в обратном направлении — сверху вниз. Благодаря тому, что объем загрузки ионообменной смолы в нижней камере фильтра не превышает 50 % ее объема, в ней можно проводить взрыхляющую промывку слоя смолы. Обвязка фильтра дает возможность перегрузки ионообменной смолы из верхней камеры в нижнюю (для удаления взвесей и мелочи из слоя смолы взрыхляющей промывкой материала, находящегося в нижней камере). Кроме того, недостатком данной технологии водоподготовки (помимо удорожания конструкции) является необходимость установки арматуры на соединительных трубопроводах между камерами, так как обеспечение надежной и бесперебойной ее работы в присутствии транспортируемой твердой фазы — весьма непростая задача в условиях промышленной эксплуатации.

Использование технологии водоподготовки LIFTBETT по сравнению со SCHWEBEBETT позволяет отказаться от жестких требований к качеству предочистки воды, однако необходимы существенно большие капитальные затраты на ее реализацию. Кроме того, значение коэффициента полезного использования объема фильтра значительно ниже, а конструкция и эксплуатация — сложнее.

Технология RINSEBETT предназначена (по мнению разработчиков) для реализации в фильтрах диаметром до 2 м [15]. Кроме среднего распределительного устройства эти фильтры оснащаются еще и перфорированной пластиной, которая размещается над ним, но при этом находится под слоем ионообменной смолы толщиной 0,25...0,30 м. Перфорированная пластина вместе с размещенным выше слоем ионообменной смолы призвана обеспечивать неподвижность слоя в течение рабочего цикла, когда обрабатываемая вода подается в фильтр снизу вверх. Регенерация проводится в обратном направлении.

Несмотря на то что эта технология обеспечивает возможность взрыхлять слой ионообменной смолы непосредственно в фильтре (преодолевается тем самым один из недостатков, присущих SCHWEBEBETT ), она не получила широкого распространения из-за сложности как конструктивной, так и эксплуатационной. Кроме того, RINSEBETT уступает технологии SCHWEBEBETT по значению коэффициента использования полезного объема фильтра.

Специалистами компании Rohm & Haas также была предпринята попытка усовершенствовать технологию SCHWEBEBETT , результатом чего явилась технология водоподготовки AMBERPACK [16]. Конструкции фильтров, предназначенных для ее реализации, практически ничем не отличаются от таковых для SCHWEBEBETT (хотя в 90-е годы прошлого века Rohm & Haas заявила о возможности отказа от плавающего инерта, если для загрузки применять монодисперсные ионообменные смолы), но в состав установки промышленной водоподготовки обязательно включается дополнительная емкость для выносной отмывки ионита от взвесей. В оригинальной запатентованной технологии предполагалось, что в процессе работы из верхней части фильтра ионообменная смола будет отбираться в емкость для отмывки, а отмытая смола — возвращаться в нижнюю часть рабочего фильтра. На практике же специалисты Rohm & Haas рекомендуют осуществлять выносную промывку слоя ионообменной смолы по мере необходимости, т.е. при возрастании гидравлического сопротивления фильтра (в точном соответствии с регламентом, разработанным для технологии SCHWEBEBETT ).

Необходимо отметить, что агрессивный маркетинг компании Rohm & Haas для продвижения технологии водоподготовки (а, по сути, торговой марки) AMBERPACK приносит свои плоды. Так, в публикациях последних лет даже маститые отечественные авторы [17], описывая современные противоточные технологии водоподготовки, упоминают AMBERPACK и UPCORE , но при этом незаслуженно обходят молчанием SCHWEBEBETT , являющуюся подлинным прототипом всех современных технологий противоточной регенерации с «зажатым» слоем ионообменной смолы.

Во второй части настоящей статьи, которая будет опубликована в № 11 за 2006 г ., проанализированы технологии противоточной регенерации, получившие развитие в течение последней четверти века, определены области и конкретные задачи, для которых возможно однозначно выбрать оптимальную технологию, сформулированы требования, позволяющие достичь максимальной эффективности при использовании противоточной регенерации ионообменной смолы, и обозначены принципы построения современных технологических схем водоподготовки для умягчения и деминерализации воды в энергетике и промышленности.

# 8.2. Ионообменная смола "Ультраион А"

# МОНОДИСПЕРСНЫЙ СИЛЬНООСНОВНОЙ АНИОНИТ ГЕЛЕВОЙ СТРУКТУРЫ ТИПА 1 (с четвертичными аминогруппами) СО СТИРОЛ-ДИВИНИЛБЕНЗОЛЬНОЙ МАТРИЦЕЙ ДЛЯ ОБЕССОЛИВАНИЯ.

# (Ионообменная смола в Cl -формеможет применяться в качестве органопоглотителя)

# Характеристики ионообменной смолы:

# [19]

**Заключение**

На базе анализа свойств ионообменных смол с однородным (монодисперсным) гранулометрическим составом и аспектов их применения в технологиях водоподготовки сделан вывод о существенных выгодах использования таких ионообменных смол.

Около 15 лет назад компания DOW CHEMICAL первой среди компаний, выпускающих ионообменные смолы, предложила своим потребителям новое поколение ионитов - ионообменные смолы с однородным гранулометрическим составом зерен (с монодисперсным распределением зерен ионообменной смолы по размерам), полученным по о собой технологии производства, а не методами тривиального рассева.

В настоящее время DOW выпускает монодисперсные ионообменные смолы трех основных классов; DOWEX MARATHON , DOWEX MONOSPHERE и DOWEX JPCORE MONOSPHERE .

Специальная технология синтеза монодисперсных ионообменных смол, разработанная DOW , позволяет:

-получить зерна с любым средним медианным размером в диапазоне от 300 до 1000 мкм;

-лимитировать максимальное отклонение диаметра зерна ионообменной смолы от среднего медианного размера для 95 % общего числа зерен в любой выборке пределами от -30 до +30 мкм;

-исключить присутствие разрушенных и треснувших зерен в синтезированной ионообменной смоле;

-обеспечить близкие к абсолютно возможным гомогенность структуры и изомерность свойств зерна ионообменной смолы;

-значительно повысить механическую прочность зерен, определяемую тестами на раздавливание и истирание;

-существенно улучшить осмотическую стабильность зерен ионообменной смолы;

-повысить химическую стойкость (устойчивость ионообменной смолы к окислению);

-повысить устойчивость ионообменной смолы к отравлению органикой и другими веществами.

Однако объективное заключение о происхождении ионообменной смолы, обладающей однородным гранулометрическим составом, может быть получено только на основе комплексного анализа ее структуры и свойств.

Следствием монодислерсного гранулометрического состава является более низкое значение гидравлического сопротивления слоя монодисперсной ионообменной смолы по сравнению со стандартной полидисперсной, характеризуемой тем же значением эффективного диаметра зерна. Кроме того, средний эффективный диаметр зерна для стандартных ионообменных смол полидисперсного гранулометрического состава лежит в пределах 700 - 800 мкм, в то время как DOW выпускает подавляющее большинство монодисперсных ионитов с диаметром зерна в диапазоне 500 - 650 мкм. Благодаря этому существенно увеличивается площадь поверхности межфазного контакта при осуществлении ионообмена, а также значительно улучшается его кинетика, обусловленная резким возрастанием скорости процессов диффузии, которая находится в обратнопропорциональной зависимости от диаметра зерна. Сочетание указанных факторов обуславливает существенные преимущества монодисперсных ионообменных смол в условиях, когда требуется проводить обработку высокоскоростных потоков или потоков с широким диапазоном измененирасходных характеристик.

Применение монодисперсных ионообменных смол в обессоливающих воду установках в зависимости от конкретных условий позволяет снизить удельный расход реагентов на регенерацию на 10-20 % без снижения качестве обработанной воды или сокращения фильтроцикла.

Очень важным представляется то обстоятельство, что монодисперсные ионообменные смолы проявляют более высокую устойчивость к отравлению органикой и другими потенциально вредными соединениями, содержащимися в обрабатываемой воде. Объяснением служат приводившиеся выше доводы об увеличении удельной площади поверхности ионообменной смолы в единице объёмной загрузки и, как следствие, о снижении удельного количества сорбируемых загрязнений в единице поверхности смолы, равно как и фактор более полной и быстрой регенерируемости более мелких зерен.

Несмотря на изложенное, некоторые отечественные специалисты склонны считать, что преимущества монодисперсных ионообменных смол становятся существенными только в условиях высокоинтенсивных технологий водоподготовки (к которым относят процессы противоточной регенерации, конденсатоочистку, применение ФСД и др.) и практически никак не проявляются в стандартных прямоточных (параллельноточных) схемах установок водоподготовки, предназначенных для обессоливания или умягчения воды. Чтобы убедиться в обратном достаточно обратиться к отечественным нормативам ежегодной досыпки катионитов и сильноосновных анионитов (исключим из рассмотрения этот показатель для слабоосновных анионитов, чтобы не делать картину совсем трагичной). В зависимости от конкретных условий эксплуатации этот показатель колеблется в среднем в пределах 7-10%. Для стандартных полидисперсных ионообменных смол срок эксплуатации не превышает 10 лет. Таким образом, в обычных условиях за десятилетний период, принимая во внимание объем досыпки и процесс естественного старения ионообменной смолы, требуется, как минимум, произвести полную замену всего объема первоначальной загрузки. В соответствии с данными эксплуатации монодисперсных ионообменных смол производства DOW на западных установках водоподготовки, в течение 8-12 лет не производилось никаких досыпок вообще! Другими словами, благодаря комплексу механических, осмотических и химических характеристик срок службы этих ионитов оказывается не менее чем в 2 раза выше, чем срок службы их стандартных аналогов!

Одной из важных стадий для нормального проведения процесса регенерации является взрыхляющая промывка. Очевидно, что для повышения эффективности очистки слоя ионообменной смолы от загрязнений скорость взрыхляющего потока должна быть максимальной, но не превышающей определенного значения, чтобы не вынести из фильтра относительно мелкую часть рабочей фракции смолы (примем в качестве ограничивающего диаметр зерен, равный 350-400 мкм). При этом надо иметь в виду, что при взрыхлении происходит практически псевдоожижение (взвешивание) слоя ионообменной смолы. Причем для материалов полидисперсного гранулометрического состава сначала происходит взвешивание мелких фракций, которые способствуют более быстрому (т.е. при относительно меньшей скорости несущего потока) переходу во взвешенное состояние крупных фракций посредством передачи им части своего импульса. Как указывалось выше, предел существования взвешенного слоя ионообменной смолы в фильтре определяется скоростью уноса, рассчитанной для наиболее мелкой фракции

Очевидно, что для фракции смолы со средним медианным размером 500 мкм, скорость потока, при которой может наблюдаться унос, оказывается на 20 % выше (а для фракции 600 мкм - на 26 % выше!), чем для смолы, включающей фракцию 350 мкм.

Таким образом, применение ионообменной смолы монодисперсного состава позволяет существенно увеличить линейную скорость потока при взрыхлении, повышая тем самым эффективность удаления из слоя смолы имеющихся загрязнений.

Рассматривая всю совокупность преимуществ, которые могут быть получены при эксплуатации монодисперсных ионообменных смол, можно сделать вывод о целесообразности их применения и в стандартных отечественных установках промышленной водоподготовки.

**Список литературы**

1. Громов С.Л. Технологические преимущества процесса противоточной регенерации ионообменных смол UPCORE : промывка взрыхлением // Теплоэнергетика. 1998. № 3. С. 52—55.

2. Громов С.Л. Основные пути совершенствования технологии водоподготовки в СНГ // Химическое и нефтяное машиностроение. 1998. Кй 12. С. 47—48.

3. Юрчевский Е.Б., Яковлев А.В. Внедрение технологии проти-воточного ионирования на базе реконструкции установленного оборудования // Энергосбережение и водоподготовка. 1998. № 1. С. 52—59.

4. Внедрение противоточной технологии UPCORE фирмы «Дау Кэмикал» (США) на ВПУ по обессоливанню ТЭЦ-12 МОСЭНЕРГО / И.И. Боровкова, И.С. Бадаев, С.Л. Громов и др. // Электрические станции. 2000. № 5. С. 29—31.

5. Алексеева Т.В., Федосеев Б.С. Совершенствование техники ионного обмена на основе противоточной технологии // Энергетик. 2001. №7. С. 17—19.

6. Гришки А.А., Малахов И.А., Ларин Б.М. Экологические проблемы ионообменных технологий на ТЭС // Сб. материалов меж-дунар. конф. «Экология энергетики». М.: Изд-во МЭИ. 2000. С. 131—332.

7. Опыт применения технологии противоточного натрий-катио-нирования в котельных / Э.Г. Амосова, П.И. Долгополов, Н.В. Потапова и др. // Сантехника. 2003, Хе 2. С. 28—31.

8. Красильннков М.Д. Противоточная технология обработки воды // Вода и экология. 2005. № 2. С. 39—41.

9. Ларин Б.М., Бушуев Е.Н., Бушуева Н.В. Технологическое и экологическое совершенствокание водоподготовительных устано­вок на ТЭС // Теплоэнергетика. 2001. N° 8. С. 23—27.

10. Патент РФ № 1372711, Способ регенерации ионнтного фильтра / Д.Л. Цырульников, Е.Б. Юрчевский, А.В. Яковлев и др. // Изобретения. 1996.

11. Патент ФРГ Jft 1807694 W . Lux . 1968.

12. Патент ФРГ М 1442689. F . Martinda, G. Siegers. 1963.

13. Брннгс Б. Технологические схемы ионообменной очистки воды // Индустрия напитков. 2004. № 4. С. 55—61.

14. Патент EPV № 0142359 А2. A . D . Pnmac , J . Dobias . 1985.

15. Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф. Водоподготовка в энергетике. М.: Изд-во МЭИ, 2003.

16. http://www.engineeringsystems.ru

17. <http://evrovoda.by>

18. http://www.nwr.ru

19. <http://www.mediana-filter.ru>

20. http://www.energokaskad.com