

Глава 1. Введение. Системы водоснабжения промышленных предприятий

1.1. Введение

Современные специалисты должны владеть научными основами новых технологий, владеть методами расчета сооружений, знать их возможности и области применения. Водоподготовка – сложная проблема, для решения которой используются различные методы, составляющие единую технологическую цепочку. Поэтому современный специалист должен хорошо изучить все процессы и методы очистки воды, представляя себе их достоинства и недостатки. С другой стороны, в различных аппаратах могут происходить сходные процессы (например, коагуляции в камерах хлопьеобразования и в каналах ультрафильтрационных аппаратов, или кристаллизации в осветлителях при известковании и в каналах обратноосмотических мембранных аппаратов, а также на греющих поверхностях выпарных аппаратов). Это требует знания теоретических основ всех процессов, используемых в очистке воды.

Процессы очистки воды постоянно совершенствуются, и области их применения постоянно меняются. Например, появившиеся еще несколько десятилетий назад мембранные процессы долгое время не рассматривались всерьез. А в настоящее время мембранные процессы обратного осмоса, ультрафильтрации, электродеионизации широко используются в новых проектах промышленной водоподготовки и при реконструкции существующих сооружений. Развитие мембранного метода обратного осмоса как нового метода опреснения воды сильно потеснило традиционно применявшиеся в этой области методы дистилляции и электродиализа. Но эти методы не перестали быть востребованными в практике водоочистки. Требования создания современных безотходных производств заставляют утилизировать стоки (часто установок ионного обмена), и для этой цели используются выпарные процессы. Другим способом ухода от проблемы утилизации регенерационных стоков

ионообменных установок при обессоливании воды является применение процесса электродеионизации – электродиализа в несколько измененном виде.

Процессы, используемые при очистке, умягчении и обессоливании воды (коагулирование, осаждение, ионный обмен, мембранный перенос), – те же, что используются в различных химических технологиях. Поэтому при разработке технологий очистки воды и расчетах аппаратов водоподготовки используются сходные методики, основанные на тех же закономерностях, что и при расчетах других химических технологий.

Часто специалисты путают понятия «процесс», «метод» и «технология». Название процесса часто отождествляют с методом и технологией. Например, говорят – процесс ионообменного умягчения. Между тем проблема умягчения воды (удаления из нее ионов жесткости) – это цель, которая решается с помощью целой технологической схемы, включающей ряд процессов и аппаратов. Например, умягчение может быть произведено с помощью различных методов: ионного обмена, нанофильтрации и др. Для умягчения используется целый ряд процессов: предочистки (коагуляции, фильтрования), ионного обмена, регенерации ионообменных фильтров и др., происходящих в различных аппаратах (осветлителях, фильтрах, эжекторах, мерниках). На самом деле ионообменный процесс, происходящий в ионообменном фильтре (аппарате), – лишь один из процессов, входящих в технологическую схему умягчения воды. Основная сложность курса «Водоснабжение и водоотведение промышленных предприятий» – необходимость знания методов водоподготовки и очистки сточных вод и умения объединить в технологическую цепочку сразу несколько процессов. При этом необходимо знание основ, возможностей и областей применения каждого из процессов.

Под **процессом** понимают изменение состояния вещества, происходящее в определенных условиях. В окружающей нас природе наблюдаются явления, которые называют **естественными процессами**. На основе данных, полученных в результате естественных процессов и анализа достижений науки

и техники, разрабатывают и реализуют многочисленные промышленные процессы с целью производства продуктов потребления. Такие процессы называют **производственными** или **технологическими** процессами. Изучение технологических процессов составляет предмет и задачу **технологии** – науки, определяющей условия практического применения законов естественных наук (физики, химии, механики и др.) для наиболее эффективного проведения разнообразных технологических процессов. Технология непосредственно связана с производством, а производство постоянно находится в развитии, поэтому технологии постоянно совершенствуются.

Многие технологические процессы могут быть реализованы с помощью различных **методов** в соответствующем **аппаратурном** оформлении. Например, технологический процесс умягчения (удаления из воды ионов жесткости) может быть осуществлен либо методами ионного обмена (метод На-катионирования, метод Н-катионирования с «голодной» регенерацией), либо реагентными методами (известкования, известково-содовым методом и др.), либо мембранными методами (нанофильтрации, обратного осмоса и др.). Выбор метода (в условиях его применения и аппаратного оформления) осуществляется на основе технико-экономического сравнения различных вариантов.

1.1.1. Общие сведения о системах водоснабжения промышленных предприятий и объектов теплоэнергетики.

Система водоснабжения промышленного предприятия представляет собой комплекс сооружений, оборудования и трубопроводов, обеспечивающих забор воды из природного источника, очистку и ее обработку, транспортирование и подачу воды потребителям требуемых расходов и качества.

В системах технического водоснабжения предусматриваются также сооружения и оборудование, необходимое для приема отработавшей воды и

подготовки ее для повторного использования, а также станции очистки сточных вод.

Кроме того, система водоснабжения должна обладать определенной степенью надежности, т. е. обеспечивать снабжение потребителей водой без снижения установленных показателей своей работы в отношении количества и качества подаваемой воды (перерывы в подаче воды, снижение подачи воды, ухудшение ее качества в недопустимых пределах).

Вода является обязательным компонентом всех технологических процессов различных производств. Поэтому задачей создания системы водоснабжения любого предприятия является обеспечение предприятия водой заданного качества и в необходимых количествах. Несоблюдение требований технологических процессов по качеству воды и надежности ее подачи приводит к ухудшению качества продукции, к ее удорожанию, выходу из строя технологического оборудования и к созданию аварийных ситуаций, опасных для жизни населения и состояния окружающей среды.

Помимо технологических нужд система водоснабжения промышленного предприятия должна также обеспечивать хозяйственно-питьевые нужды сотрудников, а также использоваться для других целей: отопления, охлаждения оборудования, пожаротушения и др.

Водопотребление предприятия зависит от целого ряда факторов: характера использования воды, объема и вида выпускаемой продукции, технологии производства, системы промышленного водоснабжения. Вода на предприятии выполняет различные функции:

- используется в качестве промышленного сырья, растворителя или реакционной среды;
- экстрагентные – для извлечения из продукта или сырья нежелательных примесей; для очистки газообразных выбросов; очистки твердых отходов от водорастворимых компонентов; мойки оборудования;
- охлаждающая – для использования в качестве хладагента;

– транспортирующая – в качестве транспортирующего агента (например, на горно-обогатительных комбинатах);

– использование воды в качестве теплоносителя.

В черной металлургии, а также в нефтехимической и химической промышленности около 80% всей расходуемой воды используется для охлаждения. В целлюлозно-бумажной промышленности 90% потребляемой воды используется в качестве экстрагента.

На суммарное водопотребление предприятий важное влияние оказывают вид выпускаемой продукции и объемы выпуска. Расход воды на единицу выпускаемой продукции может составлять от нескольких кубических метров до нескольких тысяч.

Расходование воды в различных отраслях промышленности на единицу продукции ($\text{м}^3/\text{т}$) составляет:

уголь – 3–5;

нефть (переработка) – 30–50;

сталь – 50–150;

чугун – 150–200;

бумага – 200–400;

химические удобрения – 300–600;

хлопчатобумажные ткани – 300–1000;

синтетическое волокно – 2500–5000.

Нормы расходования воды определяются технологическими расчетами для каждой конкретной технологии. Высокие нормы водопотребления и, как следствие, большие сбросы сточных вод в водоемы являются, как правило, результатом несовершенства существующих технологических процессов и схем водного хозяйства, что приводит к повышению себестоимости продукции и неблагоприятному воздействию на окружающую среду.

Режимы расходования воды на промышленных предприятиях отличаются от режимов работы систем коммунального водоснабжения и определяются

особенностями используемых технологических процессов. Режим водопотребления на предприятиях может быть равномерным, эпизодическим или по графику. Во многих отраслях промышленности имеют место сезонные различия в водопотреблении.

Дефицит свежей чистой воды, постоянно растущее водопотребление и необходимость охраны водных источников от загрязнения и истощения требуют разработки новых путей решения проблемы обеспечения предприятий водой. Одним из основных путей решения этой проблемы является уменьшение забора свежей воды из источников и уменьшение сброса в них отработанных вод за счет повторного использования воды в производстве и создания замкнутых систем водоснабжения. Эффективным средством рационального использования воды в производстве является повторное использование доочищенных бытовых сточных вод. Решающую роль в этом играют разработка новых технологий очистки воды и совершенствование технологических процессов. Одним из важных методов сокращения потребления пресной воды является использование опресненных минерализованных морских и подземных вод. Принятие любых решений осуществляется на основе технико-экономического сравнения различных вариантов. Экономическим стимулом для снижения водопотребления является плата промышленными предприятиями за воду.

Система водоснабжения представляет собой сложный комплекс сооружений, взаимосвязанных в работе. Сооружения должны быть рассчитаны так, чтобы обеспечивалась их четкая работа в общей цепи, а потребитель в результате получал нужное количество воды заданного качества под необходимым напором. С этой целью для каждого из сооружений строго установлены расчетные расходы:

Максимальный суточный расход, на который рассчитываются водозаборные сооружения, очистная станция, резервуар и насосные станции первого и второго подъема.

Средний часовой расход в сутки наибольшего водопотребления, необходимый для установления расчетной (средней) часовой производительности водозаборных сооружений, очистной станции и расчета водоводов первого подъема.

Максимальный часовой и соответствующий ему **секундный расход** воды, на которые рассчитывается водопроводная сеть и производительность насосной станции при подаче пожарного или максимального хозяйственного расхода без напорно-регулирующих сооружений.

После определения необходимого объема водопотребления объекта и сбора сведений о возможных для использования природных источниках, выбирается конкретный источник водоснабжения и намечается схема производственного водоснабжения.

1.1.2. Нормативное обеспечение проектирования систем водоснабжения промышленных предприятий.

При проектировании систем водоснабжения промышленных предприятий следует руководствоваться рядом нормативных документов.

СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84*.

СП 30.13330.2012. Внутренний водопровод и канализация зданий. Актуализированная редакция СНиП 2.04.01-85*.

СП 56.13330.2011. Производственные здания. Актуализированная редакция СНиП 31-03-2001 (с изменениями №1, 2).

СП 44.13330.2011. Административные и бытовые здания. Актуализированная редакция СНиП 2.09.04-87 (с Поправкой, с Изменениями № 1, 2).

СП 8.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Источники наружного противопожарного водоснабжения. Требования пожарной водоснабжения.

ГОСТ 25151-82 (СТ СЭВ 2084-80). Водоснабжение. Термины и определения.

ГОСТ 30813-2002. Вода и водоподготовка. Термины и определения.

СанПиН 2.2.1/2.1.1.1031-01. Проектирование, строительство, реконструкция и эксплуатация предприятий, планировка и застройка населенных мест. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.

СанПиН 2.1.5.980-00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод.

СП 2.1.5.1059-01. Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения.

При проектировании хозяйственно-питьевого водопровода на предприятиях качество питьевой воды в нем регламентируется СанПиН 2.1.4.1074-01 и СанПиН 2.1.4.2496-09.

Также есть специализированные документы, относящиеся к проектированию котельных установок и тепловых сетей.

СП 89.13330.2016 Котельные установки. Актуализированная редакция СНиП II-35-76.

СП 124.13330.2012 Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003.

РД 34.37.522-88 Методические указания по коррекционной обработке питательной и котловой воды барабанных котлов давлением 3,9-13,8 МПа (с Изменениями №1, 2).

Руководящие указания по известкованию воды на электростанциях. М., Энергонот ОРГРЭС, 1973.

Руководящие указания по проектированию термических деаэрационных установок питательной воды, 1968 (ЦКТИ им. Ползунова, ВТИ им. Дзержинского).

Руководящие указания по коагуляции воды на электростанциях. М., Энергонот ОРГРЭС, 1973.

При эксплуатации сооружений водоподготовки используют следующую нормативно-правовую документацию:

ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.

ГОСТ Р ИСО 5725-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Части 1-6.

Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением (с изменениями на 12 декабря 2017 года). Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 25 марта 2014 года № 116.

ГОСТ 12.3.006-75 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Эксплуатация водопроводных и канализационных сооружений и сетей. Общие требования безопасности.

Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (с изменениями на 15 ноября 2018 года). Утверждены приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 24 июля 2013 года №328н (с изменениями на 15 ноября 2018 года).

Общие нормативно-правовые документы

Водный кодекс Российской Федерации (с изменениями на 2 августа 2019 года).

Федеральный закон РФ от 27.12.2002 №184-ФЗ «О техническом регулировании» (с изменениями на 29.07.2017).

Федеральный Закон от 10.01.2002 №7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (с изменениями на 26.07.2019).

Федеральный закон от 04.05.2011 №99-ФЗ «О лицензировании отдельных видов деятельности» (с изменениями на 2 августа 2019 года).

Федеральный закон от 29.06.2015 №162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации» (с изменениями на 3 июля 2016 года).

Федеральный закон от 26 июня 2008 №102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» (с изменениями на 13 июля 2015 года).

Постановление Правительства РФ от 05.08.1997 №17. Правила сертификации работ и услуг в Российской Федерации. Утверждены Постановлением Госстандарта России от 05.08.1997 (в ред. Постановления Правительства РФ от 05.07.2002 №56).

1.1.3. Нормы и режимы расходования воды на производственные нужды.

Расчетная потребность предприятия в технической воде в значительной мере зависит от типа используемого оборудования и принятой схемы технологического процесса. Она может определяться только по технологическим данным водопотребляющего оборудования.

В справочной литературе приводятся данные по удельным нормам расхода воды на единицу продукции (на единицу веса готового продукта). Данные получены в результате обработки и осреднения величин расходов воды (той или иной отраслью промышленности). Но эти нормы не в полной мере учитывают специфику каждого конкретного предприятия и могут быть использованы лишь для ориентировочных расчетов.

Расчетные расходы воды для технических нужд можно определить так:

$$\begin{aligned} Q_{\text{пр}}^{\text{сут}} &= M_{\text{сут}} \cdot q_o, \\ Q_{\text{пр}}^{\text{час}} &= Q_{\text{пр}}^{\text{сут}} / 24 \end{aligned} \tag{1.1}$$

где $M_{\text{сут}}$ – количество выпускаемой продукции за сутки, ед. изм.; q_o – удельная норма водопотребления на единицу выпускаемой продукции, м³/(сут·ед.изм).

Хозяйственно-питьевое водоснабжение предназначено:

- для утоления жажды рабочих и служащих предприятия, приготовления пищи и мытья посуды;

- для помывки работающих на предприятиях в душевых и умывальных установках;

- на стирку в прачечных, на уборку помещений цехов, служб и отделов;

- на полив зеленых насаждений, тротуаров и проездов.

Расходы воды на хозяйственно-питьевые нужды промышленных предприятий должны определяться в соответствии с СП 30.13330.2012.

Суммарное суточное потребление хозяйственно-питьевой воды на предприятии определяется как:

$$Q_{\text{пром.х-п}}^{\text{сут}} = Q_{\text{х-п}}^{\text{сут}} + Q_{\text{душ}}^{\text{сут}} + Q_{\text{п}}^{\text{сут}} + Q_{\text{стол}}^{\text{сут}}, \quad (1.2)$$

где $Q_{\text{х-п}}$ – расчетный расход воды рабочими предприятия на умывание и мытье рук, утоление жажды и т.п.; $Q_{\text{душ}}$ – расчетный расход воды на душевые установки; $Q_{\text{п}}$ – расчетный расход воды на полив территории; $Q_{\text{стол}}$ – расчетный расход воды в столовых предприятия.

Расчетный расход воды на хозяйственно-питьевые нужды в холодных и горячих цехах промышленного предприятия рассчитывается по нормам СП 30.13330.2012. На каждого рабочего и служащего предусматривается потребление 25 л воды в смену в обычных (холодных) цехах и 45 л на человека в смену в горячих цехах.

Горячие цеха – цеха с тепловыделением более 84 кДж на 1 м³/ч. Эти удельные нормы не включают воду, расходуемую в душевых, столовых и на полив территории предприятий.

Расчетные часовые расходы воды рабочими и служащими предприятия на умывание и питье за максимальную смену определяется с учетом коэффициентов суточной и часовой неравномерности потребления воды.

На производствах, связанных с загрязнением тела (или требующих особого санитарного режима), учитывается расход хозяйственно-питьевой воды в душевых из расчета $q_{\text{д}} = 500$ л/ч на 1 душевую сетку. Количество душевых сеток $n_{\text{д}}$ определяется исходя из численности работающих, которым необходимо пользоваться душем по категории производства. Длительность

работы душевых установок принимается равной 0,75 часа после окончания каждой смены.

Расчетный часовой расход ($\text{м}^3/\text{ч}$) на душевых установках предприятия определяется по выражению:

$$Q_{\text{душ}}^{\text{час}} = 0,001 \cdot n_{\text{д}} \cdot \frac{q_{\text{д}}}{0,75}, \text{ м}^3 / \text{ч}. \quad (1.3)$$

Расчетное число человек на 1 душевую сетку определяется по СП 44.13330.2011.

Расчетный часовой расход воды ($\text{м}^3/\text{ч}$) на полив территории предприятия определяется по формуле:

$$Q_{\text{п}}^{\text{час}} = 0,001 \cdot \sum_{i=1}^{i=k} \frac{n_{\text{пи}} \cdot F_{\text{пи}} \cdot q_{\text{пи}}}{\tau_{\text{пи}}}, \text{ м}^3 / \text{ч}. \quad (1.4)$$

где $n_{\text{пи}}$ – количество поливов территории определенного вида за сутки, раз/сутки; $F_{\text{пи}}$ – площадь поливаемой территории данного вида, м^2 ; $q_{\text{пи}}$ – расход воды на один полив 1 м^2 конкретного вида поливаемой территории, $\text{л}/\text{м}^2$ (для асфальтированных покрытий: $q_{\text{п}} (\text{асф}) = 0,5 \text{ л}/\text{м}^2$; для зеленых насаждений: $q_{\text{п}} (\text{зел}) = 3 \dots 6 \text{ л}/\text{м}^2$); $\tau_{\text{пи}}$ – продолжительность полива территории данного вида, ч/сутки; k – количество различных видов поливаемых площадей, шт.

Расчетный часовой расход воды ($\text{м}^3/\text{ч}$) в столовых предприятия определяется так:

$$Q_{\text{стол}}^{\text{час}} = 0,001 \cdot k_{\text{ч}} \cdot \frac{q_{\text{бл}} \cdot n_{\text{бл}}}{\tau_{\text{см}}}, \text{ м}^3 / \text{ч}. \quad (1.5)$$

где $k_{\text{ч}}$ – коэффициент часовой неравномерности потребления воды в столовой ($k_{\text{ч}} = 1,5$); $q_{\text{бл}}$ – средняя норма расхода воды на одно приготовленное в столовой блюдо ($q_{\text{бл}} = 12 \text{ л}/\text{блюдо}$); $n_{\text{бл}}$ – количество блюд, приготовленных в столовой за смену, блюд/смена; $\tau_{\text{см}}$ – продолжительность смены, часы.

Расход воды на наружное пожаротушение через гидранты нормируется СП 8.13130.2009 в зависимости от строительного объема производственных зданий, степени огнестойкости их строительных конструкций и категории

производства по пожарной опасности, размещенного в рассматриваемых зданиях.

Расчетное количество одновременных пожаров на промышленном предприятии следует принимать в зависимости от занимаемой им площади; один пожар – при площади до 150 га, два пожара – при площади более 150 га.

При объединенном противопожарном водопроводе поселения и промышленных предприятий, расположенных вне поселения, расчетное количество одновременных пожаров следует принимать по п. 6.2 СП 8.13130.2009 в зависимости от площади промышленного предприятия и числа жителей в населенном пункте.

Для особенно ответственных предприятий расчетное количество одновременных пожаров устанавливает индивидуально Государственная противопожарная служба Российской Федерации.

Продолжительность тушения пожара должна приниматься 3 ч; для зданий I и II степеней огнестойкости с негорючими несущими конструкциями и утеплителем с помещениями категорий Г и Д по пожарной и взрывопожарной опасности – 2 ч.

Максимальный срок восстановления пожарного объема воды должен быть не более:

24 ч – в поселении и на промышленных предприятиях с помещениями категорий А, Б, В по пожарной и взрывопожарной опасности;

36 ч – на промышленных предприятиях с помещениями категорий Г и Д по пожарной и взрывопожарной опасности;

72 ч – в поселениях и на сельскохозяйственных предприятиях.

Основным фактором, определяющим работу всех элементов системы водоснабжения, является режим расходования воды потребителями, который может быть изображен в виде суточных графиков водопотребления.

Пример суточных графиков технического и хозяйственно-питьевого водопотребления промышленного предприятия показан на рис. 1.1 и 1.2.

Суточный график технического водопотребления более равномерен. Из-за разного количества оборудования, работающего в разное время, расход воды несколько изменяется. Значение коэффициента суточной неравномерности (представляющего собой отношение максимального суточного расхода к среднему суточному расходу за год) $k_{сут\ max}$ для прямоточных систем охлаждения может изменяться в более широких пределах вследствие изменения температуры природной воды по сезонам года.

Суточный график хозяйственно-питьевого водопотребления (рис. 1.2) носит пиковый характер из-за больших, но кратковременных расходов воды в душевых и в обеденные перерывы. Для этих потребителей $k_{сут\ max} \approx 1$, а коэффициент часовой неравномерности потребления воды $k_{час\ max} = 3 \dots 4$.

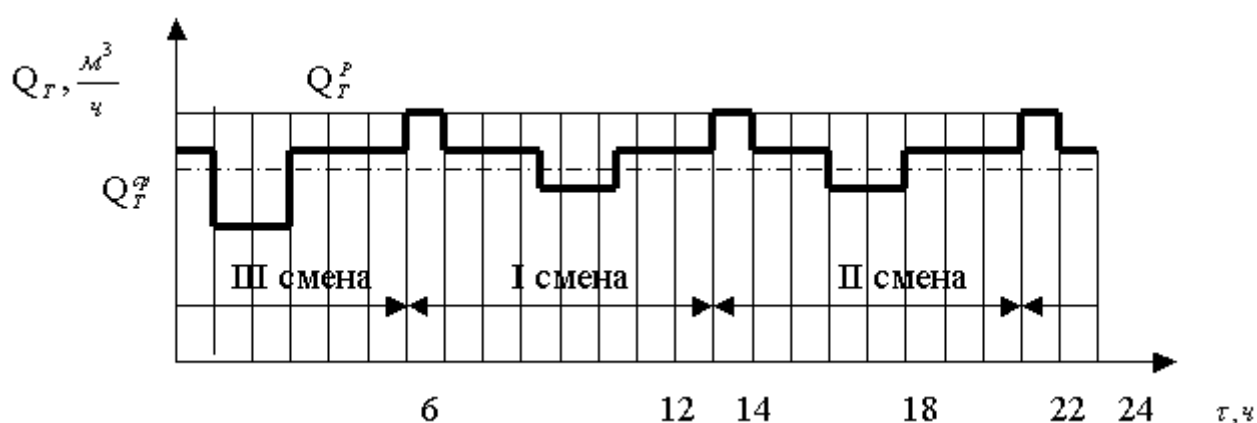


Рис. 1.1. График суточного технологического водопотребления.

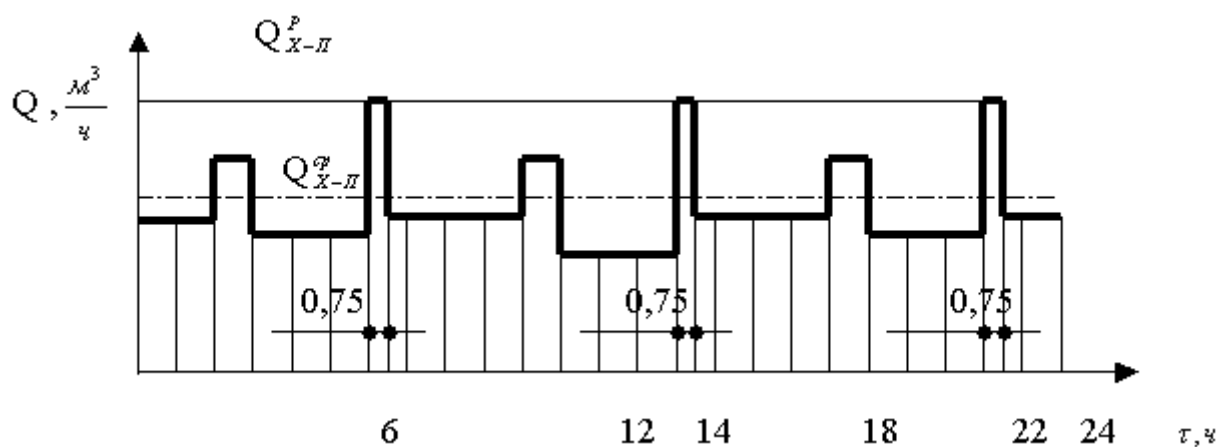


Рис. 1.2. График суточного потребления хозяйственно-питьевой воды.

1.1.4. Требования к качеству воды

Соответственно назначению воду для производственных целей можно разделить на четыре категории:

- вода **I** категории используется для охлаждения нагретых поверхностей (например, печей), жидких и конденсации газообразных продуктов (в теплообменных аппаратах и др.) без соприкосновения с продуктом; вода нагревается и практически не загрязняется, могут лишь присутствовать аварийные утечки жидких и газообразных продуктов в воду, загрязняющие ее;

- вода **II** категории служит в качестве среды, поглощающей различные нерастворимые (механические) и растворенные примеси; вода не нагревается (обогащение полезных ископаемых, гидротранспорт), но загрязняется в основном механическими и частично растворенными примесями;

- вода **III** категории используется так же, как и вода **II** категории, но подвергается нагреву (улавливание и очистка газов в скрубберах, тушение кокса и т.п.);

- воду **IV** категории используют в качестве экстрагента и растворителя реагентов (например, при флотационном обогащении природных ископаемых, промывке поверхностей и веществ и др.), и она загрязнена в основном растворимыми неорганическими и органическими веществами.

Качество и свойства воды, подаваемой для производственных целей, устанавливают в каждом конкретном случае в зависимости от роли воды и требований технологического процесса установок и производств с учетом используемого сырья.

Общими являются следующие требования к качеству и свойствам технической воды:

- она должна быть безвредной для здоровья обслуживающего персонала и не обладать отрицательными органолептическими свойствами (при открытой системе);

- она должна быть стабильной, т.е. использоваться для охлаждения продукта или конструктивных элементов оборудования; она не должна выделять механических, карбонатных или других солевых отложений свыше допустимой величины.

Допустимой величиной ориентировочно можно считать скорость отложения взвесей (механических и солевых) не более $0,25 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ или слой толщиной $0,08 \text{ мм}$ в месяц (при чистке аппаратов). При необходимости воду обрабатывают тем или иным способом;

- она не должна вызывать точечной и язвенной коррозии, а также равномерной коррозии металла со скоростью, превышающей $0,09 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ (или слой толщиной $0,1 \text{ мм}$ в год), и разрушения бетона; может быть допущена равномерная коррозия углеродистой стали со скоростью не более $0,45 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ (если слой до $0,5 \text{ мм}$ в год) при отсутствии признаков точечной или язвенной коррозии. При необходимости применяют более стойкие материалы или воду обрабатывают тем или иным способом;

- она не должна способствовать развитию биологических обрастаний теплообменных аппаратов и охладителей оборотной воды со скоростью, большей $0,07 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ (слой $0,05 \text{ мм}$ в месяц) по воздушно-сухой массе.

Особенность развития современных предприятий состоит в том, что на них находятся различные виды производств и различные виды потребителей, что требует применения различных видов оборудования. Для современных предприятий характерен также переход на автономное обеспечение: использование собственных систем водоподготовки и теплоснабжения. Отказ от использования воды из централизованного водопровода заставляет использовать воду из скважин или технического водопровода (обычно представляет собой воду из поверхностного водоисточника).

На каждом предприятии вода используется для различных целей:

1. Для хозяйственно-питьевых нужд (внутренний водопровод, душ, приготовление пищи), в ряде случаев имеет место разделение – водопровод и питьевая вода в пищеблоках.

2. Для горячего водоснабжения.

3. Для целей отопления (для теплосетей или паровых котельных).

4. Для подпитки оборотных систем охлаждения оборудования.

5. Для технологических нужд различных видов производств.

В зависимости от вида деятельности предприятия вода может быть использована в производственном цикле:

– для приготовления пищевых продуктов и напитков в пищевой промышленности;

– для приготовления лекарственных препаратов (фармацевтическая промышленность);

– для охлаждения технологического оборудования и продуктов производства (металлургическая, химическая промышленность);

– для производства пара (для нужд паросилового хозяйства) в энергетике, пищевой промышленности, химической и нефтяной промышленности и др.;

– для отмывки деталей (в электронной промышленности, гальванической промышленности, при производстве печатных плат и др.).

В табл. 1.1 представлены требования к качеству воды, предъявляемые основными отраслями промышленности и видами производств, а также основные технологические процессы, требующиеся для достижения этих качеств.

Требования к качеству воды, используемой в производственных процессах, постоянно меняются. С одной стороны, происходит постоянный процесс модернизации различных видов оборудования (для охлаждения, производства пара, отмывки и др.). С другой – этот процесс сопровождается ужесточением требований к качеству используемой воды. Например, появление новых конструкций паровых котлов с высокой температурной напряженностью

(типа ДКВР) влечет за собой и ужесточение требований к питательной воде по ее общему солесодержанию. Новые технологии производства стекла и полимерных материалов ужесточают требования по солесодержанию и жесткости воды, используемой для отмывки готовой продукции. Решение проблем подготовки воды для различных потребителей связано с подбором необходимого оборудования, работа которого основана на различных методах. Однако вопросы подбора оборудования требуют знаний технологий производства, возможностей процессов очистки.

Таблица 1.1

Требования к качеству воды, принятые в различных отраслях промышленности

Показатель	Единица измерения	Вода для пищевых производств	Дистиллированная вода (ГОСТ 6709-72)	Вода для электронной промышленности	Водогрейные котлы	Паровые котлы среднего давления	Паровые котлы высокого давления ТЭЦ
1	2	3	4	5	6	7	8
Кальций Ca^{2+}	мг/л	1–7	0,05	–	–	–	–
Магний Mg^{2+}	мг/л	0	–	–	–	–	–
Общая жесткость ($\text{Ж}_{\text{общ}}$)	мг-экв/л	0,2	–	–	0,7	0,0	–
Натрий, калий $\text{Na}^+ + \text{K}^+$	мг/л	1,0	–	–	8–0,8	1	–
Хлориды Cl^-	мг/л	15	0,05	–	–	–	–
Сульфаты SO_4^{2-}	мг/л	25–100	0,02	–	–	–	–
Общая щелочность ($\text{Щ}_{\text{общ}}$)	мг-экв/л	20–100	–	–	–	–	–
Общее солесодержание	мг/л	0,5–1,5	–	–	–	–	<0,1
Электропроводность	μСм·м	100	–	–	–	–	≤0,01
Силикаты SiO_3^-	мг/л	–	5,4–6,6	0,01	–	–	–
Железо Fe^{2+}	мг/л	–	0,08	0,015	–	–	–

Фториды F^-	мг/л	0,1	–	–	–	–	–
Ион аммония NH_4^+	мг/л	–	–	–	–	–	–
Мутность	мг/л	–	–	–	–	–	–
Цветность	град ПКШ	1,0	–	–	–	–	–
Перманганатная окисляемость	мг/л	10	0,08	1,0	–	–	–
Карбонатный индекс $KI = [Ca][HCO_3]$	мг- экв/л ²	2,0–6,0	–	–	0,5	–	–
Удельное сопротивление	МОм/см	–	–	1,8	–	–	–
Растворенный кислород	мг/л	–	–	–	0,05	0,05	0,05
Требуемая технология		Умягчение	Обессоливание	Обессоливание	Умягчение	Глубокое умягчение	Глубокое обессоливание

1.2. Системы водоснабжения промышленных предприятий

1.2.1. Системы оборотного, прямоточного, последовательного, и оборотно-последовательного использования воды.

Существуют три основные схемы промышленного водоснабжения: прямоточная схема, прямоточная схема с повторным использованием воды и оборотная схема. Существуют также комбинированные схемы водоснабжения, включающие элементы прямоточных и комбинированных схем.

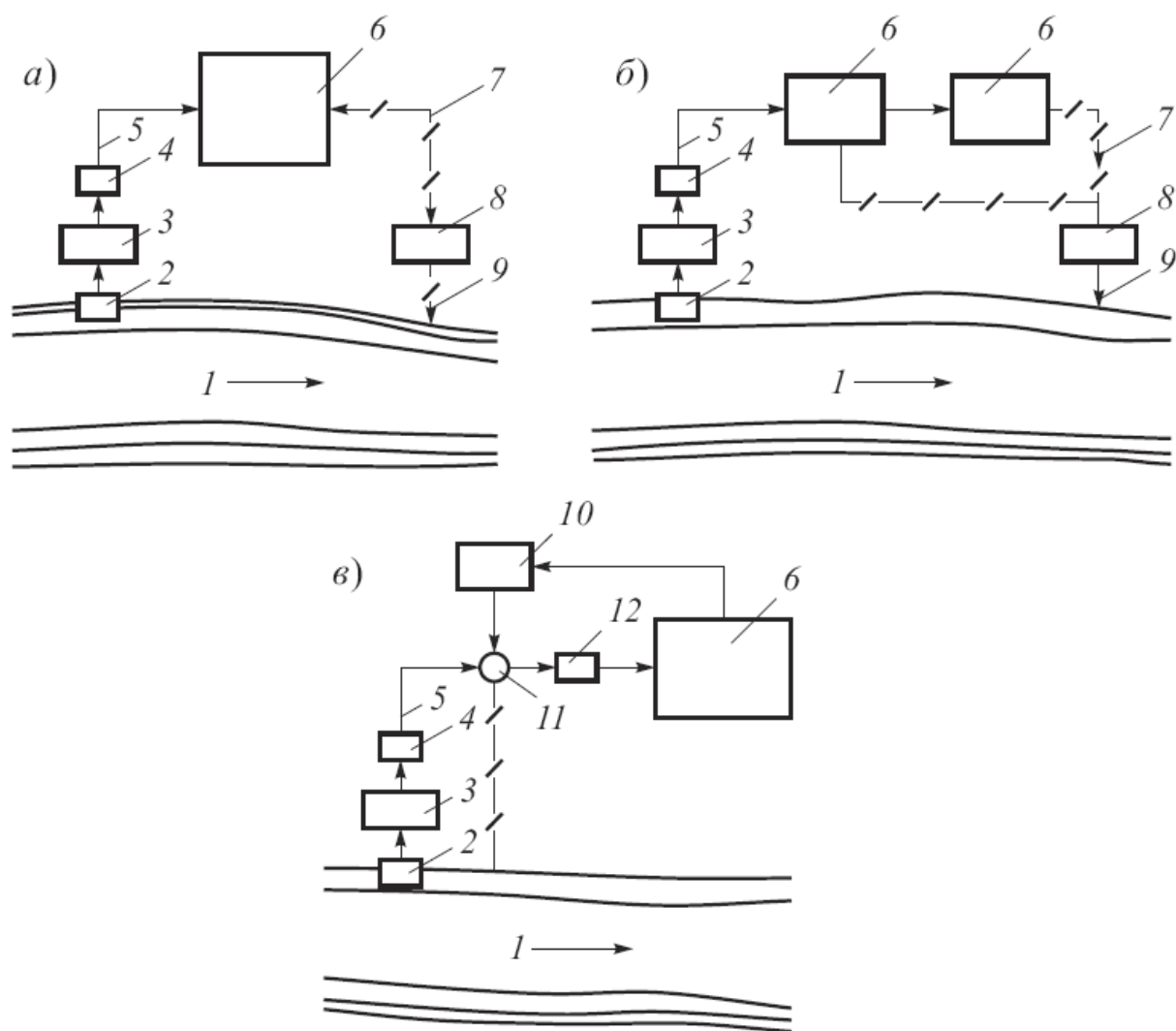


Рис. 1.3. Схемы производственного водоснабжения:

а – прямоточная; б – с повторным использованием воды; в – оборотная;

1 – река; 2 – водозаборное сооружение; 3 – очистные водопроводные сооружения; 4 – насосная станция II подъема; 5 – водоводы; 6 – промышленное предприятие; 7 – сброс отработанной воды; 8 – станция очистки сточных вод; 9 – сброс воды в реку; 10 – водоохлаждающее устройство; 11 – сборный резервуар; 12 – насосная станция оборотной воды

При прямоточной схеме (рис. 1.3, *а*) из водного источника забирается все необходимое для водопотребителей количество воды. Отработанная вода сбрасывается обратно в водный объект. По мере роста производства на предприятии растет и водопотребление, при этом требуемое количество воды может превышать дебит водоисточника. Увеличивающийся сброс отработанных вод в водоем требует расходования больших средств на их

очистку. Поэтому более перспективным является путь уменьшения расходов забираемой из водоема и сбрасываемой в него воды.

Система повторного использования воды (рис. 1.3, б) представляет собой такую систему водного хозяйства, в которой свежая вода, пройдя технологический цикл на одном из производств, участвует в технологическом процессе другого производства. Для применения схемы повторного использования воды необходимо, чтобы отработанная вода по количеству и качеству удовлетворяла требованиям технологического процесса второго потребителя. Применение такой схемы позволяет сократить суммарный расход свежей воды из водоисточника. Она может рассматриваться как усовершенствованная прямоточная система, когда источник водоснабжения не может полностью обеспечить необходимый расход воды.

С целью сокращения забора свежей воды из источников водоснабжения и защиты их от загрязнений широкое применение находят оборотные системы водоснабжения (рис. 1.3, в). В таких системах вода после участия в технологическом процессе не сбрасывается в водоем, а подвергается обработке и вновь возвращается на предприятие. Потери, имеющие место в производстве, восполняются из источника.

Все системы, использующие воду в обороте, подразделяют на локальные, централизованные и смешанные. В локальных системах вода после восстановления потребительских свойств используется в обороте одного или последовательно в нескольких технологических процессах. В централизованных оборотных системах вода после различных операций проходит обработку единым потоком, после чего возвращается в производство.

При смешанном водоснабжении воды одной оборотной системы используются в другой оборотной системе. Например, из охлаждающей системы вода поступает в экстрагенную, из экстрагенной системы в транспортирующую. Если оборотная система работает без какого-либо сброса оборотной воды в источник, то она является замкнутой. Вода из источника

поступает в нее только для восполнения потерь. Замкнутые системы – наиболее экологически чистые системы.

В зависимости от изменения качества воды в процессе ее использования оборотное водоснабжение подразделяется на:

- 1) «чистые циклы» – для воды, которая при использовании только нагревается;
- 2) «грязные циклы» – для воды, которая только загрязняется;
- 3) «смешанные циклы» – для воды, которая при использовании одновременно и нагревается, и загрязняется.

Дефицит пресной воды требует кардинального изменения технологических схем производства, широкого внедрения маловодных и безводных схем, а также создания замкнутых безотходных производственных циклов.

Рациональные системы использования воды разрабатываются на основе научно обоснованных требований к качеству воды, используемой в каждом технологическом процессе, и совершенствования этих процессов. Создание замкнутых систем возможно при соблюдении следующих принципов в водоснабжении, канализации и очистке вод:

- водоснабжение и канализация должны рассматриваться в едином комплексе, когда на предприятии создается единая система водного хозяйства, включающая водоснабжение, канализацию и очистку воды;
- в водоснабжении вместо свежей воды в основном используются очищенные производственные и городские сточные воды, а также поверхностный сток. Свежая вода из источников может использоваться только для особых целей и восполнения потерь;
- методы и технологии, применяемые для очистки воды и восстановления ее потребительских качеств, а также для очистки промывных вод и технологических растворов, должны обеспечивать одновременное извлечение из воды ценных компонентов при минимальных затратах.

В самом общем виде замкнутая система водного хозяйства промышленного предприятия включает в себя:

- 1) локальные оборотные (замкнутые) системы;
- 2) централизованные (замкнутые) системы;
- 3) охлаждающие локальные (централизованные) оборотные (замкнутые) системы;
- 4) системы последовательного использования воды в нескольких технологических операциях с передачей воды из одной оборотной системы в другую.

Техническое совершенство системы оборотного водоснабжения предприятия может быть оценено коэффициентом использования оборотной воды:

$$K_{об} = \frac{Q_{об}}{Q_{об} + Q_{св}}. \quad (1.6)$$

Рациональность использования воды, забираемой из источника, может быть охарактеризована коэффициентом ее использования:

$$K_{св} = \frac{Q_{св} - Q_{об}}{Q_{св}}, \quad (1.7)$$

где $Q_{об}$ – количество оборотной воды, м³/ч; $Q_{св}$ – количество свежей воды, забираемой из источника, м³/ч; $Q_{сб}$ – количество сточных вод, сбрасываемых в водоем, м³/ч.

Очевидно, что для замкнутых систем водного хозяйства $K_{св} = 1$, а для оборотной системы значения $K_{об}$ и $K_{св}$ – меньше единицы. В настоящее время в целом ряде отраслей промышленности (химической, нефтехимической, черной металлургии и др.) коэффициент использования оборотной воды достигает весьма высоких значений, составляя 0,85 – 0,9.

В современных условиях разрабатываются и создаются замкнутые системы водного хозяйства промышленных комплексов и районов. В таких системах предусматривается использование сточных вод и поверхностных стоков на промышленных предприятиях, для обводнения водоемов; для полива

местных лесных насаждений. Они исключают образование каких-либо отходов и сброс отработанных вод в водоемы.

1.2.2. Определение расходов воды и составление водного баланса промышленного предприятия.

Для систем водоснабжения промышленных предприятий (оборотных систем) рекомендуется составлять баланс воды, включающий различные потери, сбросы (продувку) и необходимое добавление компенсирующих расходов воды в систему. Поступление воды в систему осуществляется не только от источников водоснабжения («свежая вода») и после повторного ее использования, но также с исходным сырьем и полуфабрикатами, со вспомогательными веществами (топливом, реагентами и т.п.), с атмосферными осадками, в виде шахтного или рудничного водоотлива, а также подземной (дренажной) воды, инфильтрационной воды и др.

Общий дефицит воды в системах водоснабжения складывается из расходов на безвозвратное потребление (унос с готовыми продуктами и отходами); мойку полов; полив проездов и насаждений; испарения в охладителях оборотной воды; унос с воздухом в виде капель из охладителей оборотной воды; естественное испарение с водной поверхности; транспирацию растительностью в водоемах; фильтрацию из системы в почву; сброс оборотной воды в водоемы при ухудшении ее качества (продувка); сброс сточных вод в водоем.

Количество воды в системе оборотного водоснабжения поддерживается постоянным. Убыль воды из системы возмещается добавочной водой, т.е. в системе поддерживается баланс между убываемой и добавочной водой.

Упрощенная балансовая схема промышленного предприятия показана на рис. 1.4 и описывается следующими уравнениями:

- всего воды свежей из источника:

$$Q_{\text{св.в}}^{\text{год}} = Q_{\text{техн}}^{\text{год}} + Q_{\text{пр.п}}^{\text{год}} + Q_{\text{х/б}}^{\text{год}} = Q_{\text{ст}}^{\text{год}} + Q_{\text{бп}}^{\text{год}}; \quad (1.8)$$

- всего сточных вод:

$$Q_{\text{ст}}^{\text{год}} = Q_{\text{ст.пр}}^{\text{год}} + Q_{\text{ст.быт}}^{\text{год}} + Q_{\text{ст.б/о}}^{\text{год}} + Q_{\text{ст.шл}}^{\text{год}}; \quad (1.9)$$

- полный расход на производство продукции:

– при оборотной системе:

$$Q_{\text{полн}}^{\text{год}} = Q_{\text{св.в}}^{\text{год}} + Q_{\text{об}}^{\text{год}}, \quad (1.10)$$

– при прямоточной системе:

$$Q_{\text{полн}}^{\text{год}} = Q_{\text{св.в}}^{\text{год}}, \quad (1.11)$$

где $Q_{\text{полн}}^{\text{год}}$ – полный расход на производство продукции; $Q_{\text{об}}^{\text{год}}$ – расход оборотной воды; $Q_{\text{св.в}}^{\text{год}}$ – всего свежей воды из источника на технические и хозяйственно-бытовые нужды; $Q_{\text{техн}}^{\text{год}}$ – расход технической воды (свежей из источника); $Q_{\text{пр.п}}^{\text{год}}$ – расход воды для производственных целей (свежей из источника, питьевой); $Q_{\text{х/б}}^{\text{год}}$ – расход воды для хозяйственно-бытовых целей (свежей из источника, питьевой); $Q_{\text{ст.пр}}^{\text{год}}$ – производственные сточные воды; $Q_{\text{ст.быт}}^{\text{год}}$ – бытовые сточные воды; $Q_{\text{ст.б/о}}^{\text{год}}$ – сточные воды, не требующие специальной очистки; $Q_{\text{ст.шл}}^{\text{год}}$ – фильтрационные воды из шламонакопителя; $Q_{\text{ст}}^{\text{год}}$ – всего сточной воды; $Q_{\text{б.п}}^{\text{год}}$ – безвозвратные потери.

Безвозвратное потребление воды в производстве и потери в местах ее использования определяются технологическим расчетом и могут быть вычислены как разность количеств подаваемой и отводимой от производства воды:

$$Q_{\text{б.п}}^{\text{год}} = Q_{\text{св.в}}^{\text{год}} - Q_{\text{ст}}^{\text{год}}. \quad (1.12)$$

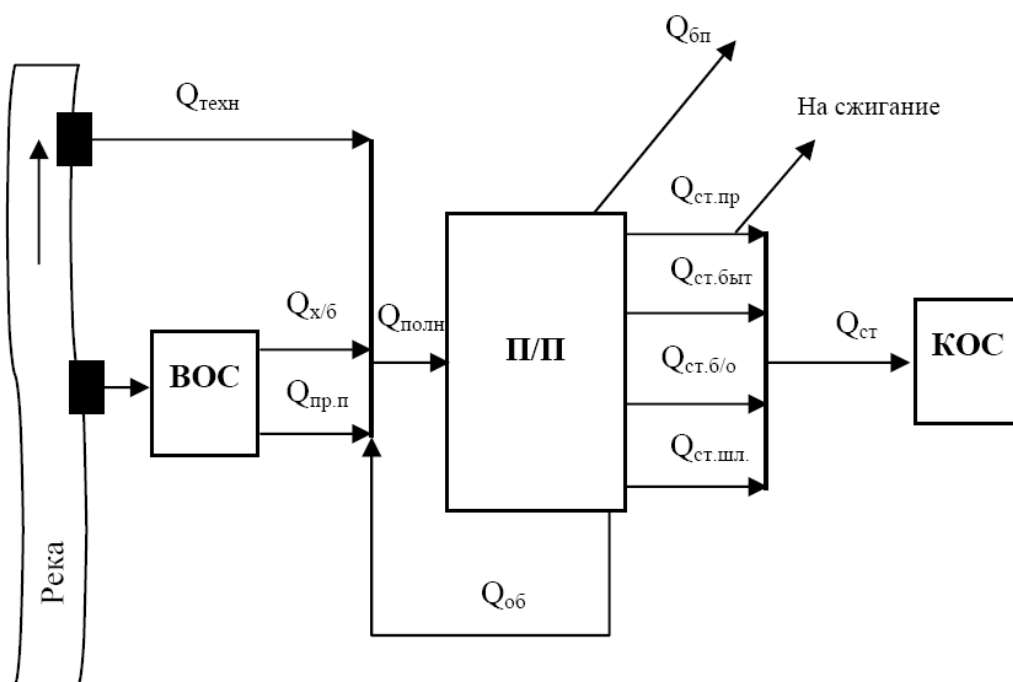


Рис. 1.4. Полная водобалансовая схема промышленного предприятия

1.2.3. Особенности водоснабжения предприятий различных отраслей промышленности

Водопотребление в теплоэнергетике

Почти 50% воды, забираемой промышленными предприятиями из природных водоисточников, потребляет теплоэнергетика. Основным потребителем воды на тепловой электростанции являются конденсаторы паровой турбины. Кроме того, охлаждающая вода требуется для: воздухоохладителей и газоохладителей обмоток генераторов, воздухоохладителей питательных насосов и возбуждателей генераторов, маслоохладителей систем смазки механизмов. Обмотки электрогенераторов охлаждаются воздухом или газом (водородом), который циркулирует в замкнутом цикле системы вентиляции и охлаждается водой. Расход воды, подаваемой на воздухо- или газоохладители генераторов, составляет 1–2% общего расхода охлаждающей воды на электростанции.

Пар для паровых турбин вырабатывается в котлах (рис. 1.5). На атомных электростанциях роль котлов выполняют атомные реакторы. На конденсационной теплоэлектростанции (см. рис. 1.5) пар из парового котла 1

поступает в турбину 2, которая приводит в действие электрический генератор 3. Отработанный пар после турбины направляется в конденсатор 4, в который также подается охлаждающая вода циркуляционным насосом 5, в результате чего пар конденсируется. Конденсат перекачивается в бак 7 питательной воды конденсатным насосом 6. В этот же бак подается добавочная химически очищенная и обессоленная вода для восполнения потерь. В паровой котел вода подается из бака 7 питательным насосом 8.

КПД паровой турбины можно увеличить, повысив температуру и давление пара, поступающего в турбину, или снизив давление и температуру пара на выходе из турбины.

Системы водоснабжения ответственных потребителей на тепловых станциях проектируются оборотными. В качестве охладителей применяются брызгальные бассейны, водохранилища-охладители, градирни.

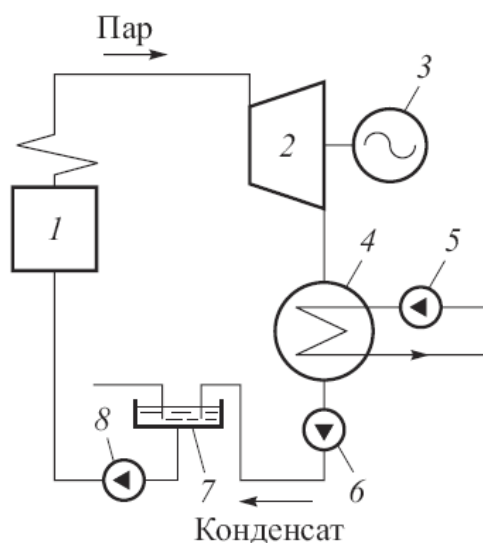


Рис. 1.5. Технологическая схема конденсационной тепловой электростанции:

1 – паровой котел; 2 – турбина; 3 – генератор; 4 – конденсатор; 5 – циркуляционный насос; 6 – конденсатный насос; 7 – бак питательной воды; 8 – питательный насос

Электростанции, работающие на твердом топливе, оборудуют установками для улавливания золы из дымовых газов. В некоторых случаях в качестве золоулавливателей применяют мокрые скрубберы.

Удаление шлака из-под котлов и золы из золоулавливателей на большинстве электростанций производится гидравлическим способом. Расходы воды для удаления шлаков зависят от вида топлива, способа его сжигания, механических свойств золы и шлака. Для нужд систем гидроудаления используют воду, прошедшую через конденсаторы, а также воду, сбрасываемую после охлаждения подшипников.

На смыв 1 т шлака требуется от 20 до 40 м³ воды, а на смыв 1 т золы – 12 м³ воды. Шлак и зола смешиваются с водой, транспортируются самотеком или с помощью побудительных сопел к насосам, которые перекачивают пульпу на золоотвалы. При раздельном удалении золы и шлаков золовая пульпа перекачивается шламовыми насосами. Если золоотвалы располагаются ниже котельной, пульпа к ним транспортируется самотеком.

Золо- и шлакоотвалы проектируют как пруды-отстойники непрерывного действия. Их организуют большей частью на участках земли вблизи электростанций, например, в оврагах. Пруд образуется путем перегораживания оврага земляной дамбой или обваловывания равнинного участка. В этот пруд сбрасывают золовую пульпу. Зола и шлак осаждаются в пруде, а осветленная вода возвращается в котельную электростанции с целью повторного использования для гидротранспорта золошлаков.

Вода для питания паровых котлов специально готовится на станции ХВО (химводоочистки). Она является глубоко умягченной и обессоленной водой, не содержащая силикат-ионов. Для глубокого умягчения и обессоливания воды используются технологии ионного обмена, обратного осмоса и электродеионизации. Химически обессоленная вода идет для восполнения потерь питательной воды котлов (подпитки). Количество воды, требующейся для подпитки котлов на конденсатных электростанциях, составляет от 1 до 2% расхода пара.

На крупных ТЭЦ производимый пар отбирается на нужды промышленных предприятий, для чего требуется значительно большее количество воды для

подпитки паровых котлов. Кроме того, на ТЭЦ производится умягченная вода, подаваемая на горячее водоснабжение городов и для целей отопления жилых застроек (вода для подпитки теплосетей).

Для обеспечения электростанций требуемыми расходами воды необходимы крупные сооружения, поэтому для строительства электростанций выбирают места вблизи водных источников, что, в свою очередь, часто приводит к строительству электростанций вдали от потребителей электроэнергии и источников тепла. На ТЭС, располагаемых вблизи потребителей тепла в крупных городах, широко применяют системы обратного водоснабжения с испарительными градирнями.

На ТЭС кроме технического водоснабжения предусматривается система противопожарного водоснабжения со стационарными автоматическими установками водопенного пожаротушения, а также система хозяйственно-питьевого водоснабжения.

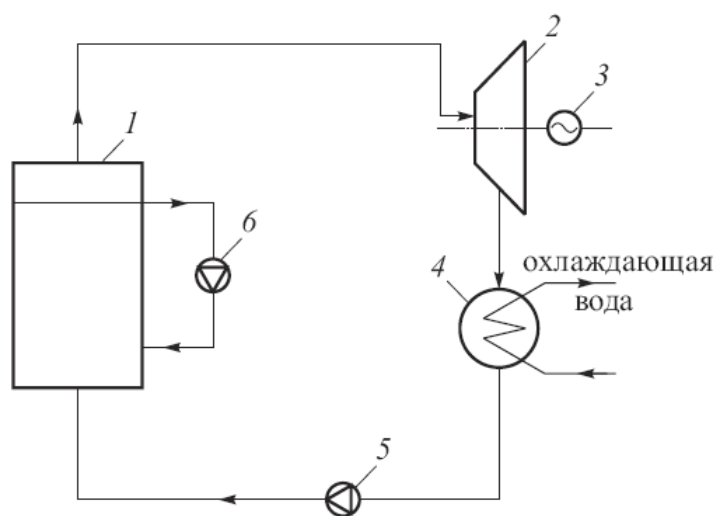


Рис. 1.6. Технологическая схема одноконтурной АЭС:

1 – реактор; 2 – турбина; 3 – генератор; 4 – конденсатор; 5 – питательный насос; 6 – циркуляционный насос

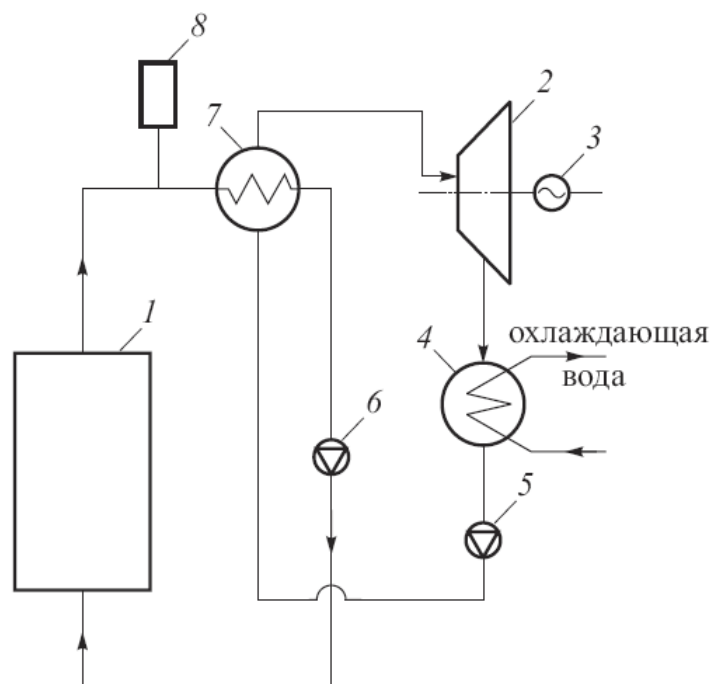


Рис. 1.7. Технологическая схема двухконтурной АЭС:

1 – реактор; 2 – турбина; 3 – генератор; 4 – конденсатор; 5 – питательный насос; 6 – циркуляционный насос; 7 – конденсатор; 8 – парогенератор

На современных АЭС в качестве теплоносителя и рабочего тела используется вода. Поэтому водное хозяйство атомной станции содержит все необходимые элементы для надежной и безопасной работы реактора и паровых турбин. В одноконтурных АЭС (см. рис. 1.6) теплоноситель испаряется и пар используется в турбинах для выработки электроэнергии. В двухконтурных АЭС (см. рис. 1.7) теплоносителем является глубоко обессоленная вода, которая, контактируя с твэлами, образует пар. Пар первого контура нагревает теплоноситель второго контура (подается в парогенераторы). Пар второго контура вращает турбины, конденсат после турбин подается во второй контур.

Техническое водоснабжение атомной станции включает в себя системы для заполнения и подпитки контуров, а также системы для охлаждения оборудования. Атомные станции в больших количествах потребляют охлаждающую воду, поскольку от многих агрегатов АЭС, как основных, так и вспомогательных, а также из отдельных ее помещений необходимо отводить большое количество теплоты. В атомной энергетике применяют турбины

насыщенного пара. По сравнению с турбинами ТЭС, работающими при невысоких давлениях, в турбины и конденсаторы АЭС поступают вдвое большие расходы пара. Поэтому при одинаковой кратности охлаждения для АЭС требуются значительно бóльшие, чем для ТЭС, расходы циркуляционной охлаждающей воды.

В связи с большими расходами охлаждающей воды ее химическую обработку не производят, ограничиваясь грубой механической очисткой и хлорированием для предотвращения биообрастаний. Химически неочищенную воду, используемую для охлаждения, называют технической водой, а отдельные системы охлаждения и водоснабжения, объединенные в единую, – системой технического водоснабжения. Надежность и экономичность работы АЭС во многом зависят от системы технического водоснабжения. Основными потребителями охлаждающей воды на АЭС являются: конденсаторы паровых турбин, маслоохладители и воздухоохладители турбогенераторов, подшипники насосов и других вспомогательных агрегатов, теплообменники вентиляционных систем, расхолаживания реактора, автономных контуров главных циркуляционных насосов, охладители проб воды и пара, отбираемых для анализа.

Кроме охлаждения техническая вода используется для приготовления добавочной воды для заполнения контуров и всех систем энергоблоков. Вода также расходуется на подпитку теплосети, хозяйственно-бытовые нужды (для санпропускников, прачечных) и др.

В ряде случаев в качестве охлаждающей воды используют морскую воду. Ее применение возможно лишь для конденсаторов, а также масло- и газоохладителей. Система водоподготовки, подпитка теплосети, снабжение санитарно-бытовых устройств производятся из другого источника водоснабжения. В систему технического водоснабжения входят охладительные устройства, насосные станции, подводящие каналы, гидротехнические сооружения (для приема и выпуска воды) и др.

Системы охлаждения могут проектироваться оборотными. Оборотные системы охлаждения сооружаются с прудами-охладителями (водохранилищами), брызгальными бассейнами или градирнями.

Развитие тепловой и атомной энергетики и увеличение объемов их сбросных вод приводят к тепловому загрязнению водоемов, а в дальнейшем – к эвтрофикации. При проектировании новых ТЭС предусматриваются только оборотные системы водяного охлаждения.

Для сокращения сброса продувочных вод оборотных систем водяного охлаждения их повторно используют на технические цели станций: для питания котлов, подпитки теплосетей, на восполнение потерь в оборотных системах гидрозолоудаления, полива территорий электростанций, сельскохозяйственных угодий и хозяйственных нужд.

Серьезную экологическую проблему представляют сточные воды станций химводоочистки (ХВО) – минерализованные стоки регенерационных растворов ионообменных установок, применяемых для подготовки питательной воды котлов. В настоящее время на станциях ХВО применяют экологически чистые мембранные методы водоподготовки (обратный осмос, электродеионизация), не требующие химических реагентов и не имеющие минерализованных стоков.

Водоснабжение в черной металлургии

Вода является таким же необходимым компонентом металлургического производства, как руда и коксующиеся угли, и используется на всех этапах производства чугуна и стали. На металлургических заводах с полным технологическим циклом выплавляют чугун и сталь. Из стали выпускают трубы и различные виды проката. На современном металлургическом комбинате имеются коксохимические, огнеупорные, агломерационные, сталеплавильные, ферросплавные, трубопрокатные, метизные и другие производства, а также теплоэлектростанции, паровоздуховные станции и другие вспомогательные цеха.

Системы водного хозяйства металлургических комбинатов обеспечивают производственные, противопожарные и хозяйственно-бытовые нужды потребителей и разрабатываются в соответствии с основными принципами проектирования систем общего и производственного водоснабжения промышленных предприятий. Они включают водозаборные сооружения, водоводы, разводящие сети, системы противопожарного водопровода, шламонакопители и хвостохранилища, сооружения для охлаждения и очистки оборотных вод, циркуляционные насосные станции, очистные сооружения ливневых стоков. Для выплавки 1 т металла на металлургическом комбинате с полным циклом расходуется около 300–350 м³ воды.

Основное количество воды на металлургических комбинатах (до 75%) расходуется на охлаждение доменных, сталеплавильных и нагревательных печей, а также на нужды воздуходувных и электрических станций. Остальная часть воды расходуется на охлаждение оборудования и продукции (металлопроката), а также на гидротранспорт механических примесей и прочие нужды.

Требования к качеству воды, подаваемой на производственные нужды, зависят от технологии производства и определяются такими параметрами, как: температура, содержание взвешенных веществ и их фракционный состав, наличие солей жесткости.

В зависимости от технологических требований к качеству воды и особенностей производства можно выделить несколько групп потребителей воды:

1. Доменные и коксовые печи, нагревательные печи прокатного производства, электроплавильные и мартеновские печи, конвертеры, конденсаторы паровоздуховных станций (ПВС) и теплоэлектростанций (ТЭС), компрессорные и кислородные станции.

2. Кристаллизаторы установок непрерывной разливки стали.

3. Установки по очистке загрязненных газов доменного, сталеплавильного и агломерационного производств.

4. Установки гидротранспорта отходов металлургического производства: золы, шлака, окалины.

5. Установки кондиционирования воздуха и санитарно-технические устройства, требующие воды питьевого качества.

Водоснабжение предприятий цветной металлургии

Цветная металлургия объединяет много разнородных производств. Помимо производств алюминия, меди, свинца, цинка и других металлов к цветной металлургии относится ряд предприятий горно-обогатительной промышленности, а также заводы по переплавке металлов, заводы по производству литейных заготовок.

К наиболее важным группам водопотребителей на предприятиях цветной металлургии относятся:

- системы испарительного охлаждения пирометаллургических агрегатов;
- котельные установки;
- системы проточного охлаждения пирометаллургических агрегатов и гидromеталлургических аппаратов;
- охлаждающие системы энергетических установок;
- устройства охлаждения трущихся узлов механического оборудования;
- устройства гидропылеподавления и гидросмыва;
- мойка автотранспорта и погрузочно-разгрузочных машин;
- устройства для мокрого бурения; устройства для дробления и измельчения полезных ископаемых;
- гидротранспорт;
- устройства для гравитационного обогащения;
- флотационные машины;
- устройства для сорбционного и экстракционного обогащения;

- электролитные и другие гидрометаллургические цеха;
- грануляционные установки;
- устройства для мокрой очистки металлургических газов и грануляционных выбросов;
- системы охлаждения прокатных и волочильных станов;
- системы приготовления электролитов, травильных и обезжиривающих растворов.

В процессе производства алюминия (методом электролиза расплава) вода используется при очистке отработанного воздуха электролизных печей, а также при очистке печных газов при разливке алюминия. При производстве меди вода используется для мокрой очистки газов (в основном сернистого газа), образующихся: при обжиге сульфидсодержащих руд, при обжиге в пламенной печи для удаления окиси железа, при переработке меди в конвекторной печи, при очистке меди методом электролиза. Также вода используется при промывке электролитических ванн.

Предприятия цветной металлургии являются источниками поступления в окружающую водную и воздушную среду различных загрязняющих веществ, в том числе и тяжелых металлов. Поэтому исключительно важной задачей является создание на предприятиях цветной металлургии высокоэффективных систем оборотного водоснабжения и замкнутых производственных циклов.

Техническое водоснабжение нефтеперерабатывающих заводов

Нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ) являются крупнейшими потребителями воды.

Количество и качество используемой воды зависят от состава нефти (малосернистая, сернистая, высокосернистая) и глубины ее переработки, от номенклатуры выпускаемой продукции, температуры воды и степени ее подготовки. Вода на нефтеперерабатывающем заводе используется для охлаждения оборудования и нефтепродуктов, для приготовления пара, для

обессоливания нефти, для промывки топлива после зашлакачивания, для приготовления щелочных растворов и на другие технологические цели.

Нефть подвергают дополнительному обезвоживанию и обессоливанию на специальных электрообессоливающих установках. Для обессоливания нефти используется метод, сочетающий термохимическое отстаивание с обработкой эмульсии в электрическом поле.

Сырая нефть содержит много примесей, которые способствуют созданию эмульсий с водой, а присутствие сероводорода существенно ускоряет коррозию оборудования. Термохимическое обезвоживание заключается в том, что для большей эффективности очистки в подогретую эмульсию вводятся химические препараты, называемые деэмульгаторами, способствующие разрушению эмульсии нефти с водой. В эмульсию добавляется также и содощелочной раствор, нейтрализующий агрессивное действие сероводорода и карбоновых кислот. При термохимическом обезвоживании содержание воды в нефти снижается до 0,5–1,0%, при этом из нефти удаляется значительная часть солей. Однако большинство нефтей нуждается в дополнительном обессоливании. Установки обессоливания носят название электрообессоливающих ЭЛОУ, где сочетается термохимическое отстаивание нефти с обработкой водно-нефтяной эмульсии в электрическом поле. Сущность процесса электрообессоливания нефти заключается в ее смешении с промывной водой и деэмульгатором с последующим отделением соленой воды в электродегидрататорах, где под действием переменного электрического поля высокой напряженности в сочетании с повышенной температурой водонефтяная эмульсия разрушается. Нефть, в которую вводятся промывная вода, деэмульгатор и щелочь, подается в электродегидратор первой ступени, где удаляется основная масса воды и солей и содержание их снижается в 8–10 раз. Из электродегидратора первой ступени нефть поступает в электродегидратор второй ступени для повторной обработки. Перед электродегидраторами второй ступени в нефть подается вода. Общий расход воды на обессоливание составляет до 10% от обрабатываемой нефти. На

некоторых установках свежая вода подается только на вторую ступень обессоливания, а перед первой ступенью с нефтью смешиваются промывные воды второй ступени. Это позволяет сократить расходы воды на обессоливание нефти.

Техническое водоснабжение предприятий пищевой промышленности

Пищевая промышленность насчитывает более 40 самостоятельных отраслей. По организационному и административному признакам все предприятия пищевой промышленности подразделяются на три группы:

- мясо-молочную;
- рыбную;
- предприятия, перерабатывающие растительное сырье.

Большинство пищевых производств используют водопроводную воду, соответствующую требованиям СанПиН, или артезианскую воду, которая обрабатывается на установках водоподготовки.

Вода используется для мойки сырья, для охлаждения насосов и оборудования, для производства пара, для гидротранспорта.

Традиционно на отечественных предприятиях пищевой промышленности подготовка воды осуществлялась с применением технологий ионного обмена, в последнее время для получения качественной воды используется метод обратного осмоса.

На большинстве предприятий, производящих напитки (пиво, алкогольные, безалкогольные напитки, соки, бутылированную воду), требуется умягченная вода, не содержащая железа. Для каждого вида продукции существуют отдельные требования по содержанию ионов кальция, магния, железа, по величине общего солесодержания и др.

Вода также используется в технологиях изготовления пищевых продуктов (добавляется при приготовлении мясного фарша, теста, кондитерских изделий,

молочных продуктов, мороженого и др.). Для каждого вида таких производств также разработаны требования по составу воды.

На ряде пищевых производств (при производстве мясных и рыбных изделий) используется пар. Поэтому на таких производствах используются системы водоподготовки питательной воды паровых котлов и парогенераторов. Кроме того, пар используется для нагрева и обеззараживания (регулярной обработки емкостей и трубопроводов острым паром).

Потребление воды в текстильной промышленности

В текстильной промышленности вода используется для котельных установок, для технологических нужд (варка, отбеливание, обезжиривание, крашение, прополаскивание), для подпитки контуров систем кондиционирования воздуха (для увлажнения воздуха и обеспыливания). В зависимости от производственных задач и вида продукции требования к качеству технологической воды различны. Например, для подготовки волокон для производства синтетических тканей требуется глубоко умягченная и деминерализованная вода.

1.3. Охлаждение и обработка оборотной воды

1.3.1. Классификация оборотных вод по степени нагрева при их использовании в промышленности.

Для охлаждения различного рода технологического оборудования в России используется примерно 65% от общего расхода воды промышленными предприятиями и теплоэнергетическими объектами.

Требования, предъявляемые к температуре оборотной воды различными промышленными предприятиями, диктуются технологическим процессом и эксплуатационными свойствами оборудования.

В табл. 1.2 приведены данные об использовании оборотной воды в промышленности, требования к ее температуре в летний период и наличии

загрязнений. Количество загрязнений в воде не указано, поскольку оно для одного и того же вида производства может быть различным из-за неодинаковых состояния оборудования, уровня эксплуатации, наличия очистных сооружений в водоблоке и др. Высокие значения водооборота достигаются в нефтеперерабатывающей отрасли, на предприятиях черной и цветной металлургии, а также нефтехимии. Предприятия теплоэнергетической отрасли потребляют две трети свежей воды, забираемой на промышленные нужды из источников водоснабжения, при наибольшем расходовании ее для охлаждения технологического оборудования (96%).

Вода в промышленности и энергетике используется для конденсации и охлаждения газообразных и жидких продуктов химических и нефтехимических производств, для конденсации отработавшего пара после расширения его в паровых двигателях, отвода теплоты от маслоохладителей и оборудования в целях предохранения его от быстрого разрушения под влиянием высоких температур (например, цилиндров компрессоров, кладки производственных печей) и т. п.

Таблица 1.2

Данные об использовании оборотной воды в промышленности и энергетике

Отрасль	Расход воды на охлаждение, %	Водооборот, %	Расход оборотной воды на крупных предприятиях, тыс. м ³ /ч	Температура воды, °С		Вид загрязнений
				нагретой в технологическом оборудовании	охлажденной на градирне	
Теплоэнергетическая	96	60	1000	37-45 ¹	30-33	Условно чистая
				35-38 ²	30-33	То же
				35-40 ³	25-30	Нефтепродукты
Нефтепере-	95	94	100	40-45	25-28	Механические

рабатыва- ющая						примеси, нефтепродукты
Химическая и нефтехими- ческая	74-95	64-96	100	40-45	25-30	Органические, минеральные примеси
Черная металлургия	75	93	300 ⁴	40-45 ⁵	30-35	Механические примеси, нефтепродукты
				35-40 ⁶	25-28	То же
Цветная металлургия	20	91	5	35-40	25-30	То же
Целлюлозно -бумажная	7	65	1	32-35 ⁷	25-27	Условно чистая
Предприяти я легкой промышлен- ности	-	-	6	35-36	27-28	То же

¹ Конденсаторы паровых турбин. ² Воздухоохладители обмоток генераторов. ³

Маслоохладители. ⁴ На комбинатах и заводах с полным металлургическим циклом.

⁵ Холодильники доменных печей и др. ⁶ Воздухоохладители и маслоохладители.

⁷ Конденсаторное оборудование.

Как следует из табл. 1.2, в зависимости от вида производства, требования, предъявляемые к температуре охлаждающей воды, различаются. Эти требования диктуются условиями производственных процессов и определяются экономичностью и надежностью работы оборудования.

На многих промышленных предприятиях эксплуатируются компрессорные установки. Для того, чтобы температура сжимаемого воздуха, выходящего из компрессора, не превышала допустимого для нормальной и безопасной работы предела 140–160 °С, используется его охлаждение. Чаще всего применяется водяное охлаждение рубашек компрессоров, при котором охлаждающая вода,

прошедшая поверхностные холодильники компрессоров, после охлаждения на градирнях вновь используется.

Расход оборотной воды при температурном перепаде 10-25 °С рассчитывается таким образом, чтобы ее температура после поверхностных холодильников не превышала 45 °С из-за предупреждения выпадения солей временной жесткости и образования накипи на охлаждаемой поверхности.

1.3.2. Процессы охлаждения воды в охладителях

Как указывалось выше, в системах оборотного водоснабжения наиболее широко используются испарительные градирни, брызгальные бассейны, водохранилища-охладители. Охлаждение воды в них протекает в результате совместного действия процессов тепло- и массообмена при непосредственном соприкосновении свободной поверхности жидкости с атмосферным воздухом, при этом жидкость и газ обмениваются теплотой благодаря соприкосновению и излучению. Кроме того, происходит поверхностное испарение жидкости. Большую часть года (весна, лето, осень) преобладающую роль играет поверхностное испарение. При низких зимних температурах роль поверхностного испарения снижается и доля отдаваемого водой тепла, приходящаяся на теплоотдачу соприкосновением, увеличивается.

Теплообмен излучением является существенным только при большой открытой поверхности охлаждаемой воды. В этом случае солнечная радиация значительно снижает охладительный эффект, несмотря на некоторую компенсацию за счет передачи теплоты водой поверхности за счет излучения. Процесс испарения (тепло- и массообмен) является комплексным процессом, в котором перенос теплоты взаимно связан с переносом вещества. При испарительном охлаждении воды приближенно принимается, что парциальное давление паров воды в слое воздуха, непосредственно расположенном у поверхности воды, равно давлению насыщенного пара P''_{nt} при средней температуре воды.

Основная масса воздуха над поверхностью жидкости не насыщена водяными парами. Если принять, что водяной пар подчиняется законам идеального газа, то парциальное давление пара в основной массе воздушного потока $P_{n\theta}$ при температуре θ , °C будет равно:

$$P_{n\theta} = \varphi P''_{nt}, \quad (1.13)$$

где φ – относительная влажность воздуха в долях единицы; P''_{nt} – давление насыщенного пара при температуре основной массы потока воздуха θ , °C.

Разность парциальных давлений

$$\Delta P_n = P''_{nt} - P_{n\theta} \quad (1.14)$$

является «движущей силой» или «разностью потенциалов», благодаря которой осуществляется перенос пара, образующегося при испарении жидкости, от поверхности воды в основную массу воздушного потока. В условиях работы испарительных охладителей парциальное давление воздуха P''_{nt} всегда выше парциального давления пара $P_{n\theta}$, поэтому независимо от того, больше или меньше температура воды температуры окружающего воздуха, величина $P''_{nt} - P_{n\theta}$ положительна. Следовательно, испарение происходит всегда. Ввиду того, что испарение требует затрат теплоты на изменение агрегатного состояния пара, оно вызывает поток теплоты q_β только от воды к воздуху, а следовательно, охлаждение воды. Поток теплоты вследствие теплоотдачи соприкосновением q_α может иметь направление как от воды к воздуху, так и от воздуха к воде в зависимости от того, какая из этих сред имеет более высокую температуру. При температуре воды больше температуры воздуха теплоотдача за счет испарения и соприкосновения (теплопроводность и конвекция) направлена от воды к воздуху. Количество теплоты, отдаваемое водой, в этом случае равно:

$$Q = q_\alpha + q_\beta. \quad (1.15)$$

Если же температура воздуха выше температуры воды, то поток тепла q_α направлен от воздуха к воде. В этом случае результирующее количество теплоты, отдаваемое жидкостью, равно:

$$Q = q_{\beta} - q_{\alpha}. \quad (1.16)$$

Температура воды будет понижаться, пока количество теплоты q_{β} , теряемое жидкостью благодаря ее поверхностному испарению, больше притока теплоты к воде q_{α} . Понижение температуры прекратится, когда направленный от воздуха к воде поток теплоты q_{α} станет равным потерям теплоты водой от испарения q_{β} . Равновесие между q_{α} и q_{β} носит динамический характер, так как ни испарение жидкости, ни подвод теплоты от воздуха не прекращаются. Однако, чтобы процессы тепло- и массообмена могли протекать беспрепятственно, к поверхности воды должно быть подведено количество теплоты q , равное количеству теплоты, отдаваемой ею в результате совместного действия обоих процессов. Для этого температура поверхностного слоя жидкости t_f должна быть ниже температуры основной ее массы t , т.е. должна существовать положительная разность температур $\Delta t = t - t_f$. Величина Δt зависит от условий переноса теплоты в жидкости за счет теплопроводности и конвекции.

Количественное соотношение между теплоотдачей соприкосновением и теплоотдачей испарением зависит от конкретных условий. С увеличением температуры воды общие теплотопотери возрастают, причем теплоотдача испарением увеличивается быстрее, чем теплоотдача соприкосновением. При снижении температуры воды до температуры воздуха по сухому термометру потери теплоты соприкосновением становятся равными нулю, а при дальнейшем снижении температуры воды поток теплоты q_{α} будет направлен от воздуха к воде. Когда температура воды, снижаясь, приближается к температуре воздуха по влажному термометру τ , тогда потери теплоты водой в результате испарения q_{β} остаются положительными; в то же время отрицательные потери теплоты соприкосновением возрастают по абсолютной величине. При снижении температуры воды до температуры воздуха по влажному термометру отрицательные теплотопотери соприкосновением q_{α} становятся равными положительным потерям теплоты при испарении q_{β} .

Наступает равновесное динамическое состояние, при котором результирующая составляющая теплоотдачи равна нулю и вода не снижает свою температуру. Следовательно, вода может быть охлаждена до температуры более низкой, чем начальная температура охлаждающего ее воздуха (по сухому термометру); это свойственно только испарительному охлаждению. Теоретическим пределом охлаждения воды является температура воздуха по влажному термометру.

В общем виде уравнение теплового баланса в испарительных охладителях имеет вид:

$$CM\Delta tT + R = q_{\alpha} + q_{\beta}, \quad (1.17)$$

где C – удельная плотность воды, кг/м³; $M = \rho W$ – массовый расход воды, кг/с; ρ – удельная плотность воды, кг/м³; W – объемный расход воды, м³/с; Δt – разница температур горячей и охлажденной воды, °С; T – рассматриваемый период, сут; R – приток теплоты от солнечной радиации, Дж.

Процессы, происходящие при испарительном охлаждении, более сложные, чем теплообмен через твердую стенку. Последний имеет место в охладителях, охлаждение в которых происходит без контакта охлаждаемой воды с атмосферным воздухом – через стены теплообменников (радиаторов). Такой теплообмен называется конвективным. Он происходит при одновременном действии конвекции и теплопроводности. Конвективный теплообмен зависит от разнообразных факторов, в том числе: режима движения жидкости и воздуха, свободного или принудительного их движения, плотности, вязкости, коэффициента теплопроводности и температуропроводности жидкости и воздуха, формы и размера участвующей в конвективном теплообмене поверхности.

Удельное количество теплоты, переданной через стенку радиатора, определяется формулой Ньютона

$$q_p = \alpha_p(t - \theta), \quad (1.18)$$

где q_p – удельное количество теплоты, кДж/(м³/ч); α_p – общий коэффициент теплопередачи от воды к воздуху через стенку радиатора, кДж/(м²·ч·°С); t –

температура воды, проходящей через радиатор, °C; θ – температура воздуха, обтекающего радиатор, °C.

Коэффициент α_p определяют по экспериментальным данным.

1.3.3. Охлаждающие устройства систем промышленного водоснабжения. Устройство и конструкции охладителей. Водохранилища-охладители

В качестве охлаждающих устройств применяют водохранилища-охладители, брызгальные бассейны, градирни различных конструкций.

Водохранилища-охладители применяются для охлаждения воды тепловых и атомных электростанций при невысоких требованиях к эффекту охлаждения воды, незначительном удалении от водоемов, наличии малоценных свободных площадей для их устройства. В качестве водохранилищ-охладителей используются русловые и пойменные участки рек, перекрываемые плотинами; пойменные участки водотоков, из которых создается искусственное водохранилище; водохранилища комплексного назначения; водохранилища гидростанций; озера и моря (рис. 1.8). Охлаждение нагретой воды происходит с поверхности водохранилища, участвующей в циркуляции потока на его пути от места сброса до водозаборных сооружений; за счет процессов тепло- и массообмена, а также за счет поступления поверхностных и грунтовых вод.

Циркуляционный поток не охватывает всю площадь водохранилища. Его конфигурация и площадь зависят от формы и глубины водоема, взаимного расположения водовыпускных и водозаборных сооружений, наличия сооружений, изменяющих его величину. Охлаждающая способность водохранилища-охладителя зависит от следующих показателей:

- площади, в границах которой происходит движение потока от водовыпуска к водозабору, именуемое транзитным потоком;

– числа и площади водоворотов, т.е. таких зон водохранилища, в которых имеет место кругообразное движение жидкости, обусловленное конфигурацией водоема и формой транзитного потока;

– тепловой нагрузки, т.е. количества теплоты, поступающей в охладитель с теплой водой;

– метеорологических условий: скорости и направления ветра, температуры и влажности воздуха, величины солнечной радиации и естественной температуры воды в водохранилище (под естественной температурой подразумевается температура воды, которая устанавливается в неподогретом водоеме под действием метеорологических и климатических факторов в районе его расположения).

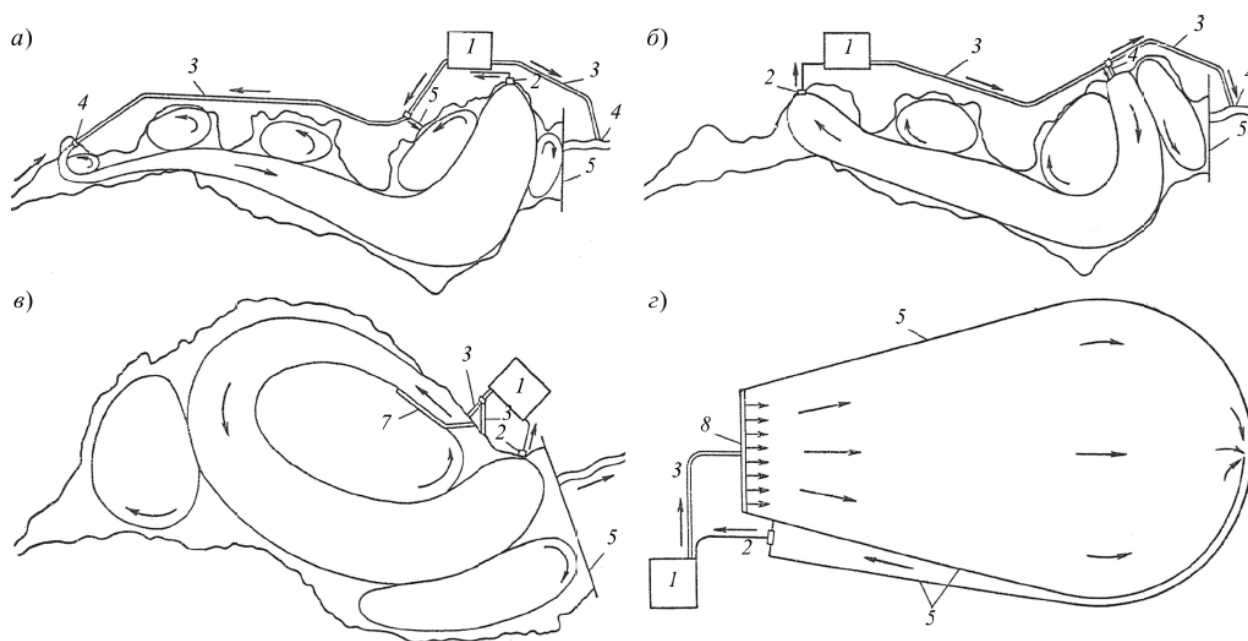


Рис. 1.8. Схема циркуляции воды в прудах-охладителях.

а – в пруду вытянутой формы; б – при водозаборе в верхней части пруда; в – в пруду округлой формы; з – в пруду-охладителе вне водотока; 1 – промышленная площадка; 2 – насосная станция водозабора; 3 – водоотводящий канал; 4 – сброс теплой воды; 5 – плотина; 6 – зимний сброс; 7 – струенаправляющая дамба; 8 – струераспределительное сооружение

Основным показателем является площадь активной зоны. Она рассматривается как площадь некоторого условного водоема с параллельно-

струйным нестратифицированным (нерасслаивающимся) потоком, необходимая для охлаждения при соответствующих метеорологических условиях. Активная зона водохранилища – это сумма активной зоны транзитного потока и активной зоны; водоворотов. Помимо активной зоны существует тупиковая зона – часть водохранилища, в которой под влиянием сил инерции и разности плотностей имеет место объемная циркуляция – встречные течения поверхностного и донного слоев. Отношение площади активной зоны к площади зеркала водохранилища (< 1) называется коэффициентом использования водохранилища-охладителя. Величина коэффициента зависит от формы водоема, расположения водовыпуска и водозабора, а также условий растекания циркуляционного потока.

Классификация водохранилищ-охладителей и схемы их использования

По назначению водохранилища подразделяются на два типа:

- водохранилища-охладители, используемые только для целей охлаждения воды;
- водохранилища-охладители, используемые комплексно, в целях орошения, рыборазведения, транспортирования, отдыха и др.

Также существуют различия по размерам площадей: небольшие – площадь не более 5 км², средние – от 5 до 10 км² и большие с площадью более 10 км². По глубинам водохранилища-охладители подразделяются на мелководные с глубиной до 5 м, средние – от 5 до 10 м и глубоководные – свыше 10 м. В мелких водохранилищах отсутствует температурная стратификация, за исключением зон, непосредственно примыкающих к водовыпускным сооружениям; около этих сооружений возникают плотностные течения вследствие эжектирующего воздействия выходящих нагретых струй. Для глубоких водохранилищ характерна устойчивая температурная стратификация потока в теплое время года; целесообразно использование глубинного забора воды. При средних глубинах температурное расслоение воды не столь устойчиво и может исчезать в периоды продолжительных и сильных ветров.

Водохранилища могут быть проточными и непроточными. В первом случае они имеют постоянный приток и сток воды, во втором – пополнение водой осуществляется либо в паводок, либо путем подкачки из других водоемов. Если отвод теплоты, полученной от предприятия, происходит со всей поверхности водоема, то водохранилище считается нагруженным, в противном случае – ненагруженным. Возможны различные схемы использования водохранилищ-охладителей.

Прямоточная схема – схема, в которой вода используется однократно. Ее можно осуществлять на реках с минимальными расчетными расходами, превышающими циркуляционный расход не менее чем в 3–4 раза, или на крупных ненагруженных водоемах. В случае если производство базируется на реках или проточных водоемах с минимальными расчетными расходами, превосходящими циркуляционный расход менее чем в 3–4 раза, может быть использована смешанная схема; тогда наблюдается рециркуляция теплой воды к водозаборным сооружениям, которые забирают смесь воды естественного стока и рециркуляционного расхода. Если в качестве водохранилища-охладителя использован непроточный водоем, емкость которого достаточна и поддерживается на необходимом уровне, применяется обратная схема.

Комбинированная схема предусматривает применение в качестве охладителя как водохранилища, так и других охладителей градирен и брызгальных устройств.

Организация водохранилищ-охладителей. При организации водохранилищ-охладителей должна быть выбрана такая схема циркуляции, которая обеспечивала бы получение воды наиболее низкой температуры при минимальных затратах на строительство и эксплуатацию. Схема циркуляции воды зависит от взаимного расположения водоприемных и водовыпускных сооружений, а также сооружений, повышающих коэффициент эффективности охладителя.

К сооружениям, повышающим площадь активной зоны водохранилищ-охладителей, относятся струераспределительные и струенаправляющие сооружения (см. рис. 1.8). Первые строят, как правило, у места выпуска теплой воды в охладитель и предназначаются для расширения фронта растекания циркуляционного потока; вторые – для удлинения пути циркуляционного потока. Струераспределительные сооружения выполняются в виде перегородок со щелью и водосливных сооружений, оборудованных шандорами для регулирования распределения воды, а также напорных труб, открытых консольных лотков и т.п. Получили распространение водовыпускные сооружения в виде фильтрующих дамб из каменной наброски. Наиболее рациональными являются струераспределительные сооружения с рассредоточенным спокойным выпуском нагретой воды на поверхность зеркала водоема. В ряде случаев в водохранилищах-охладителях, подлежащих комплексному использованию, возникает необходимость ограничения зоны с повышенными температурами из экологических соображений. Для этого организуется сброс теплой воды в водоем в глубинные слои. Непосредственное сопряжение отводящего канала с ложем водохранилища применяется на мелких водохранилищах вытянутой формы, где начальная ширина выходящего потока не имеет существенного значения.

К струенаправляющим сооружениям относятся дамбы из каменной наброски, земляные дамбы с креплением камнем против размыва волнами. Эти сооружения позволяют увеличить коэффициент использования площади зеркала водохранилищ за счет удлинения пути циркуляционного потока. Схема расположения водовыпускных и водозаборных сооружений определяется многими факторами: формой водохранилища, соотношением его ширины и длины; наличием тупиковых зон; организацией движения циркуляционной воды по акватории водоема (круговое, поперечное, продольное); типом водохранилища, озера и моря.

Выбор схемы циркуляции воды, а также типа сооружений, улучшающих работу охладителя, производится с помощью моделирования и построения плана течений, тепловых и технико-экономических расчетов.

Основной особенностью водохранилищ-охладителей, базирующихся на водохранилищах ГЭС, крупных озерах и морях, является то, что площадь их акватории заведомо достаточна для охлаждения циркуляционного расхода воды. При использовании водоемов, обеспечивающих забор воды с минимальной температурой, охладительную способность всего водоема не определяют.

Область применения водохранилищ-охладителей определяется следующими показателями: удельная тепловая нагрузка 230–460 Вт/м²; разность температуры охлажденной воды t_2 и температуры атмосферного воздуха по смоченному термометру $\tau = 6\text{--}8$ °С. Приблизительно можно считать, что для охлаждения 1 м³/ч воды на 5–10 °С требуется от 30 до 50 м² активной площади водохранилища-охладителя.

1.3.4. Брызгальные бассейны

При невысоких требованиях к эффекту охлаждения воды, наличии открытой для доступа воздуха площади и необходимости создания запасов воды на территории промышленного предприятия применяют брызгальные бассейны. Брызгальный бассейн представляет собой открытый прямоугольный бетонный или железобетонный резервуар с гидроизоляционным экраном из двух и более секций, над которыми через сопла разбрызгивается охлаждаемая вода. Вода к соплам поступает под напором по водораспределительным трубам. Бассейн располагается длинной стороной перпендикулярно направлению господствующих ветров.

При вылете из сопла водяная струя разбивается на капли, каждая из которых по траектории тела, брошенного под углом к вертикали, встречает сопротивление воздуху; поэтому размеры, углы вылета и начальные скорости

отдельных капель различны, траектории их движения не совпадают и они образуют вокруг сопла «факел». Движение воздуха в пределах брызгального бассейна, как и в случае водохранилища-охладителя, определяется ветром и естественной конвекцией.

Процесс испарительного охлаждения в брызгальном бассейне еще сложнее, чем в водохранилище-охладителе. Существенным отличием является то, что скорость движения капель в значительно большей степени влияет на процесс тепломассообмена, чем абсолютная скорость воздуха в пределах бассейна. При отсутствии ветра нагретый и увлажненный воздух поднимается над брызгальным устройством вверх, а на смену ему по периметру бассейна притекает наружный холодный воздух. При наличии ветра эта схема изменяется, и теплый воздух сносится по направлению ветра. Отсутствие теоретического решения процесса охлаждения в бассейнах приводит к необходимости пользоваться экспериментальными данными. Охлаждающий эффект этих сооружений зависит в основном от климатических и конструктивных факторов: температуры и влажности воздуха, наличия ветров, типа сопел и др.

Охлаждение будет протекать тем лучше, чем благоприятней условия для отдачи тепла испарением и соприкосновением, которые обеспечиваются созданием большой поверхности соприкосновения охлаждаемой воды с воздухом, равномерностью распределения воды и воздуха по площади охладителя, свободным доступом воздуха на площадку бассейна. Все это достигается разбрызгиванием воды на капли, правильным выбором конструкции сопел, их размещением, а также расположением бассейна на территории промышленной площадки.

Бассейны брызгальных устройств служат для сбора охлажденной воды и создания необходимого запаса воды. Они выполняются в выемке или полувыемке с пологими откосами. План бассейна с одиночно расположенными соплами 1 на распределительных трубопроводах 2 приведен на рис. 1.9.

Ширина бассейна в осях крайних сопел не должна превышать 50 м. Для уменьшения уноса капель воды ветром крайние сопла устанавливаются на расстоянии 7–10 м от границы бассейна в зависимости от величины напора у сопел и скорости ветра; образовавшаяся зона называется защитной.

Вокруг брызгальных бассейнов предусматривают водонепроницаемое покрытие шириной не менее 2,5 м с уклоном, который обеспечивает отвод воды, которая выносится ветром из бассейнов. Каждую секцию бассейна оборудуют трубопроводами для отвода излишков воды. Днище должно иметь уклон в сторону приемки со спускной трубой в сеть канализации 3. На отводящем охлажденную воду трубопроводе 4 устанавливают сороудерживающую решетку с ячейками не более 30 мм. Глубину воды в бассейне принимают не менее 1,7 м. Расстояние от уровня воды до борта бассейна не менее 0,3 м.

Трубопроводы брызгальных устройств выполняются обычно из стали. Гидравлический расчет их производят из условия, чтобы разница напоров между наиболее удаленными соплами не превышала 0,5 м. Распределительные линии присоединяют к коллектору 5, который прокладывают вдоль одного из бортов бассейна. На концах распределительных линий устанавливают сопла для их промывки. Отдельные линии отключают на ремонт с помощью задвижек 6. В целях поддержания необходимого температурного режима в зимнее время в каждой секции брызгального бассейна предусматривают трубопровод 7 для сброса воды без разбрызгивания.

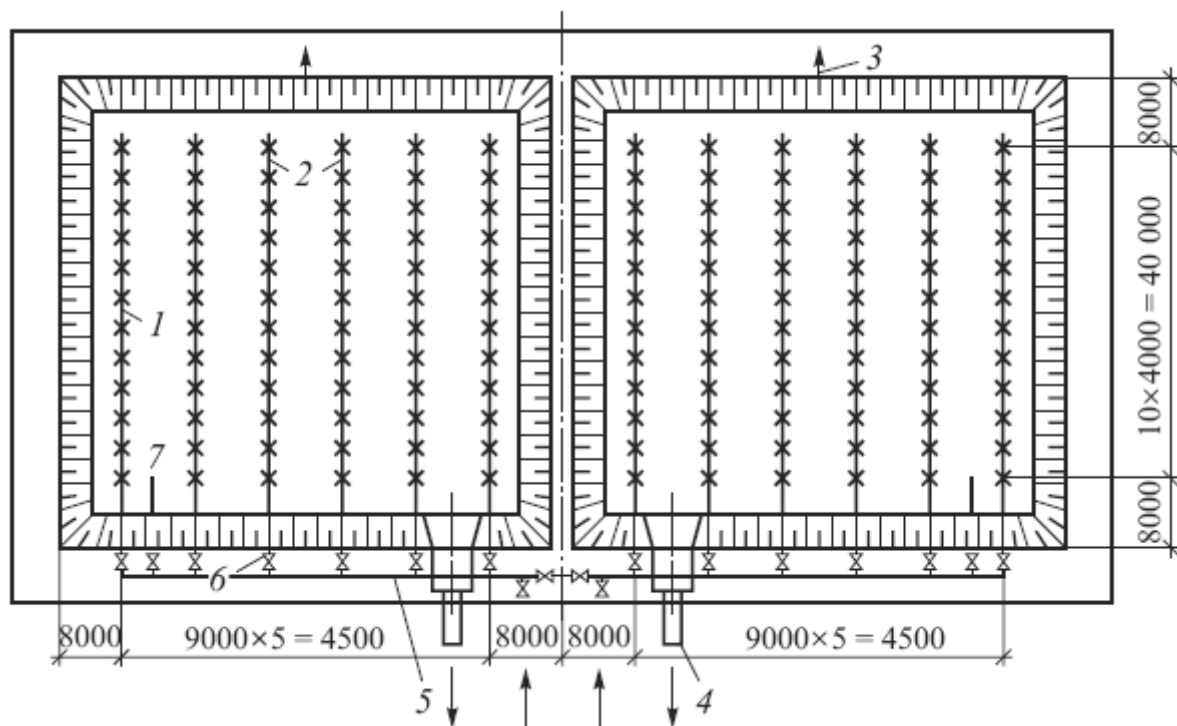


Рис. 1.9. План брызгального бассейна с эвольвентными соплами:

1 – сопла; 2 – распределительные трубопроводы; 3 – спускная труба в сеть канализации; 4 – отводящий трубопровод; 5 – коллектор; 6 – задвижки; 7 – трубопровод для сброса воды без разбрызгивания

Для разбрызгивания воды применяются разбрызгивающие сопла различных типов: центробежные, щелевые и ударные (рис. 1.10). При оценке качества сопел следует учитывать целый ряд факторов: простоту конструкции и массу, степень засоряемости и возможность их прочистки без снятия с места установки, величину гидравлического сопротивления, равномерность распределения воды по площади факела, способность сопел разбивать выбрасываемую струю воды на мелкие капли, производительность сопла и его стоимость.

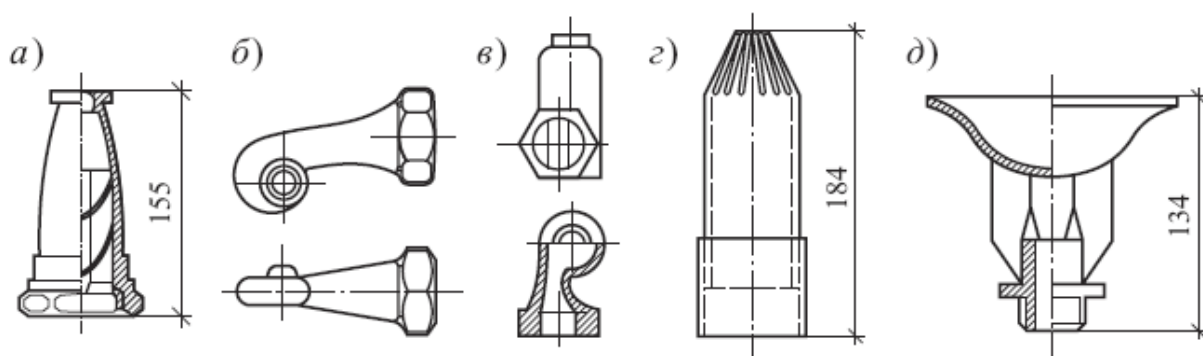


Рис. 1.10. Типы разбрызгивающих сопел:

а – центробежные сопла МОТЭП; б – эвольвентные; в – центробежные сопла «Гипротис»; г – щелевого типа П-16; д – сопла ударного действия с отражателями

В центробежных соплах (рис. 1.10, а–в) разбрызгивание воды происходит по спирали под действием центробежных сил. Сопла щелевого типа (рис. 1.10, г) разбрызгивают воду через щелевые отверстия. К соплам ударного действия (рис. 1.10, д) относятся сопла с отражателями, в которых разбрызгивание воды происходит при ударе струи об отражатель и струеударные сопла, в которых разбрызгивание воды происходит при соударении струй. Поверхность охлаждения водяного факела определяется конструкцией сопла и величиной напора воды перед ним. При повышении напора поверхность факела увеличивается за счет удлинения траектории падения капель и уменьшения их диаметра, однако повышение напора приводит к увеличению затрат электроэнергии и выносу мелких капель воды ветром.

Работа брызгальных устройств может совмещаться с работой водохранилищ-охладителей, когда их охлаждающая способность недостаточна. Брызгальные устройства рекомендуется устанавливать вблизи водозабора, где обеспечивается смешение воды от разбрызгивающих сопел с охлажденной водой, поступающей из водохранилищ.

Брызгальные устройства устанавливают и на берегу водохранилищ-охладителей. При таком размещении должно быть предусмотрено создание в основании небольшого слоя воды (0,1–0,15 м), препятствующего размыву дна и предупреждающего образование брызг. При установке брызгальных устройств

над акваторией водохранилища прокладка трубопроводов осуществляется на сваях или поплавках. Область применения брызгальных бассейнов определяется следующими показателями: удельная тепловая нагрузка в пределах от 5,8 до 23 Вт/м²; температурный перепад 5–10 °С; разность температуры охлажденной воды и температуры атмосферного воздуха по смоченному периметру 10–12 °С.

1.3.5. Градирни

Градирни используются в системах оборотного водоснабжения, требующих устойчивого и глубокого охлаждения воды. Они проектируются по типовым и индивидуальным проектам. Охлаждающий эффект градирен возрастает с увеличением контакта воды с воздухом, который достигается различными способами.

По принципу охлаждения воды градирни могут быть испарительными, поверхностными и гибридными. По способу подвода воздуха к охлаждаемой воде испарительные градирни подразделяют на три основные группы:

- открытые, или атмосферные, поступление воздуха в которые происходит продувкой их ветром и естественной конвекцией;
- башенные, имеющие естественную тягу воздуха за счет разности плотностей наружного воздуха и нагретого влажного воздуха внутри градирни;
- вентиляторные, движение воздуха в которых происходит за счет тяги, создаваемой вентиляторами.

К поверхностным относятся радиаторные (так называемые «сухие» градирни), охлаждение воды в которых происходит через стенку радиаторов. Движение воздуха в этих градирнях обеспечивается либо вентиляторами, либо за счет тяги, создаваемой башней.

Гибридные градирни представляют собой комбинацию испарительной и радиаторной градирен. Большинство испарительных градирен, несмотря на разнообразие конструкций, имеют ряд общих элементов. К ним относятся:

водораспределительные системы, оросительные устройства, водоуловители, сборные резервуары.

Водораспределительные системы

Водораспределительная система предназначена для равномерного распределения охлаждаемой воды по поверхности орошения градирни, в результате которого создается необходимая поверхность водного потока, определяющая его охлаждающую способность.

Водораспределительные устройства градирен можно разделить на три основные группы: разбрызгивающие, без разбрызгивания и подвижные. Разбрызгивающие устройства, в свою очередь, подразделяются на безнапорные и напорные.

В любом случае диапазон размеров капель и пленок воды, создаваемых водораспределителем, должен, с одной стороны, способствовать уменьшению капельного уноса из градирни, а с другой – не допускать образования водяных струй в оросителе.

Напорная схема (рис. 1.11) представляет собой систему трубопроводов, выполненную из металлических, асбестоцементных, пластмассовых труб, которые оборудованы разбрызгивающими соплами. Подвод воды в систему напорного водораспределения осуществляется подводящим водоводом к стояку. По коллекторам, присоединенным к стояку, вода поступает в периферийную зону орошения, а затем по распределительным трубопроводам подводится к соплам. Установка разбрызгивающих сопел осуществляется двумя способами: направленными вниз факелами и направленными вверх факелами. Тип сопел распределительной системы аналогичен соплам, используемым в брызгальных бассейнах (см. рис. 1.10).

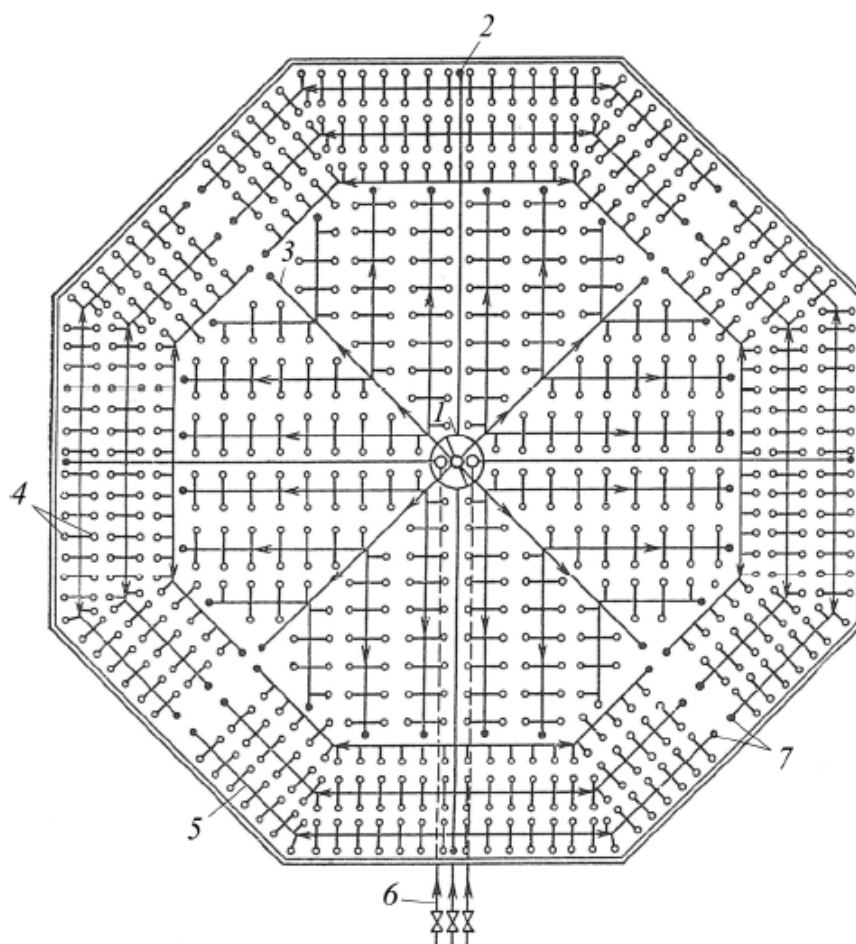


Рис. 1.11. Схема напорного водораспределителя:

1 – стояк; 2, 3 – коллекторы; 4 – сопла; 5 – распределительные трубопроводы; 6 – подводящие трубопроводы; 7 – «промывные» сопла

Водораспределение осуществляют таким образом, чтобы была возможность отключения отдельных частей системы, что необходимо для перераспределения плотности орошения в зимнее время. При безнапорной системе водораспределения вода к разбрызгивающим устройствам поступает по лоткам. Разбрызгивание воды в безнапорных системах осуществляется обычно с помощью гидравлических насадок и тарелочек (рис. 1.12). Тарелочки устанавливаются под соплами. Гидравлический расчет напорных систем заключается в определении диаметров труб и напора воды в начале системы. Расчету предшествуют определение типа и размеров разбрызгивающих сопел, их числа, разработка схемы расположения трубопроводов. Скорость движения воды в трубопроводах принимают в пределах 1,5–2,0 м/с. Гидравлический

расчет лотков обычно не производят. Поперечное сечение их устанавливают по расходу сливных трубок или по конструктивным соображениям. Скорость движения воды принимают в магистральных лотках 0,8 м/с и распределительных – до 0,4 м/с.

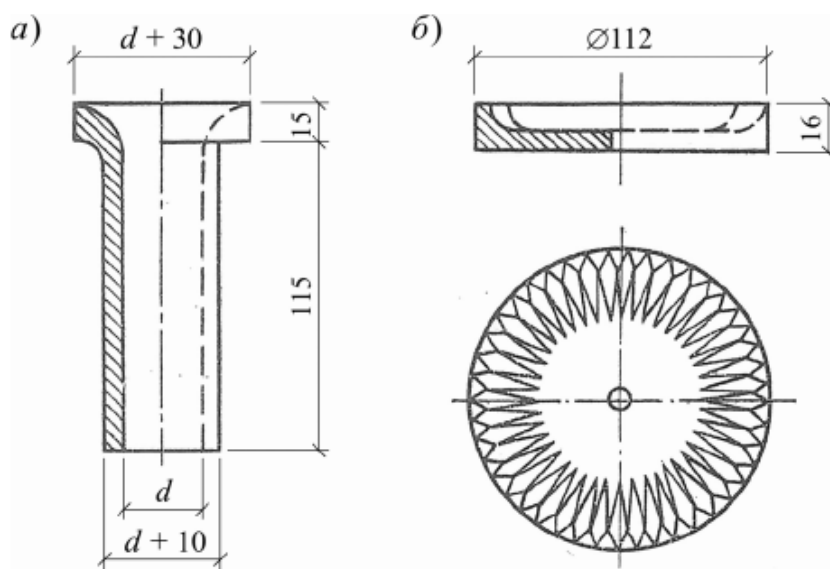


Рис. 1.12. Насадок (а) и тарелочка (б) для безнапорных систем водораспределения градиент

С целью интенсификации процесса охлаждения иногда применяют дифференцированное распределение воды с уменьшением плотности дождя к центру, что достигается применением гидравлических насадок или сопел различных диаметров либо изменением расстояния между ними. Расстояние между тарелочками или соплами определяется из условия равномерного дождя. Для проведения трудоемких гидравлических расчетов совместного действия разбрызгивающих устройств существуют программы расчета на ЭВМ.

В отечественной и зарубежной практике уделяется большое внимание распределительным системам без разбрызгивания воды. Распределение воды без разбрызгивания осуществляется благодаря пуску ее через треугольные лотки с боковыми отверстиями, фильтрации через слой пористого материала, пропуску воды через щели с регулируемой шириной и др. Эти системы эффективно работают в условиях дефицита свежей воды.

Оросители являются основным элементом градирни, определяющим ее охлаждающую способность. Конструкция оросителя должна обеспечивать получение достаточной площади поверхности охлаждения при оптимальном аэродинамическом сопротивлении. В зависимости от характера преобладающей поверхности охлаждения оросители могут быть: пленочные, капельные, капельно-пленочные и брызгальные. Каждый тип оросителя может иметь разнообразные конструкции отдельных элементов и размеры, а также выполняться из различных материалов. Выбор типа оросительного устройства производится на основании сопоставления охлаждающей способности и стоимости градирни. Необходимо учитывать долговечность, изнашиваемость материала, прочность и массу оросителя, легкость установки, доступность ремонта, а также наличие в охлаждаемой воде взвешенных веществ и агрессивность примесей. В зависимости от вида оросителя теплоотдача происходит с поверхности водяной пленки или с поверхности капли.

Деревянные оросительные устройства пленочного типа (рис. 1.13) выполняются из прямоугольных брусков толщиной 8–13 мм и шириной до 100 мм. Из них изготавливают щиты высотой 1,2–2,6 м и шириной 2,5 м за счет крепления досок к двум-трем вертикальным рейкам с промежутками в 40–150 мм. Щиты собираются в блоки. Расстояния между щитами блочного деревянного оросителя 20–80 мм. Блоки по высоте устанавливаются в один или два яруса на горизонтальные опорные балки каркаса оросителя или подвешиваются к ним на стальных тросах. Однако древесина чувствительна к химическому и биологическому воздействию.

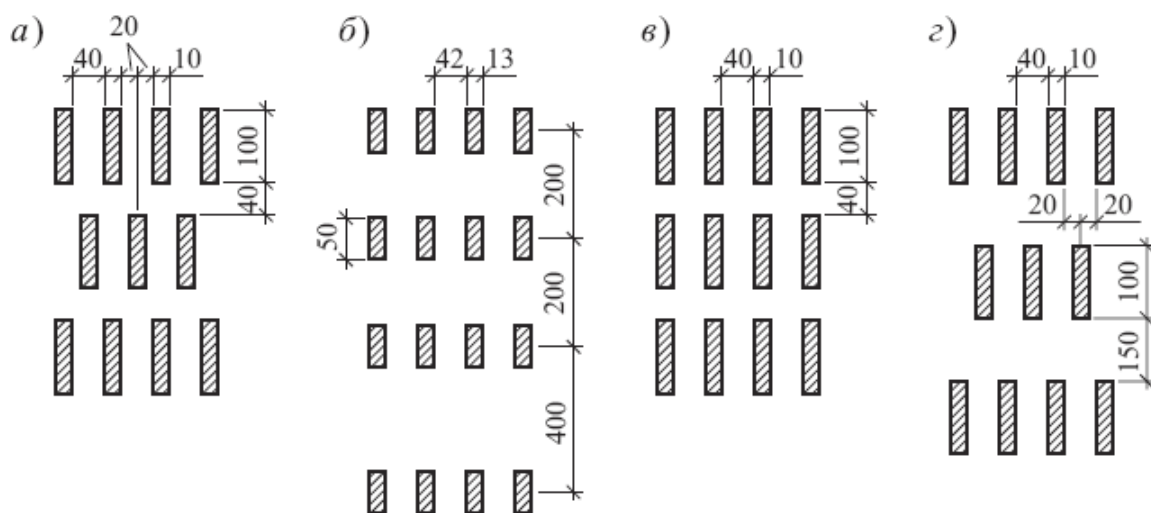


Рис. 1.13. Пленочные оросители из деревянных брусков

Асбестоцементные оросители изготавливаются из плоских и волнистых листов. Они обеспечивают хорошее растекание пленки воды, что улучшает охлаждающий эффект оросителя. Применяется блочная конструкция оросителя. Недостатком асбестоцементных оросителей является большая масса, канцерогенные свойства материала и склонность к зарастанию поверхности листов солями карбоната кальция.

Пластмассовые оросительные устройства являются одним из наиболее прогрессивных и распространенных типов. Пластмасса противостоит химическому воздействию многих растворов, кислот, солей и щелочей, что выгодно ее отличает от древесины. Эти оросители изготавливаются в виде сот, ячеек, волнистых листов и т.п.

Капельные оросители конструктивно представляют собой объемную решетку из планок и реек. Материалом для их изготовления может служить древесина хвойных пород. В настоящее время древесина вытеснена синтетическими материалами, что привело к видоизменению конструкции оросителя.

Капельно-пленочные оросители, выполненные из дерева, состоят из двух и более частей, располагаемых друг над другом. По своей конструкции капельная и пленочная части такого оросителя не отличаются от обычных капельных и

пленочных. Конструкции капельно-пленочных оросителей из полимерных материалов могут быть аналогичными деревянным. Однако более перспективными являются конструкции, выполненные из пластмассовых сеток, сформированных в виде призм, гофролистов и др. По возможности работать на загрязненной воде капельно-пленочные оросители, выполненные из сетчатых элементов, имея высоту около 1 м, не уступают капельным деревянным высотой 2–3 м. При реконструкции градирен могут применяться и комбинированные капельно-пленочные оросители. Например, из асбестоцементных листов в нижнем ярусе и полимерных сеток или листов различных видов в верхнем.

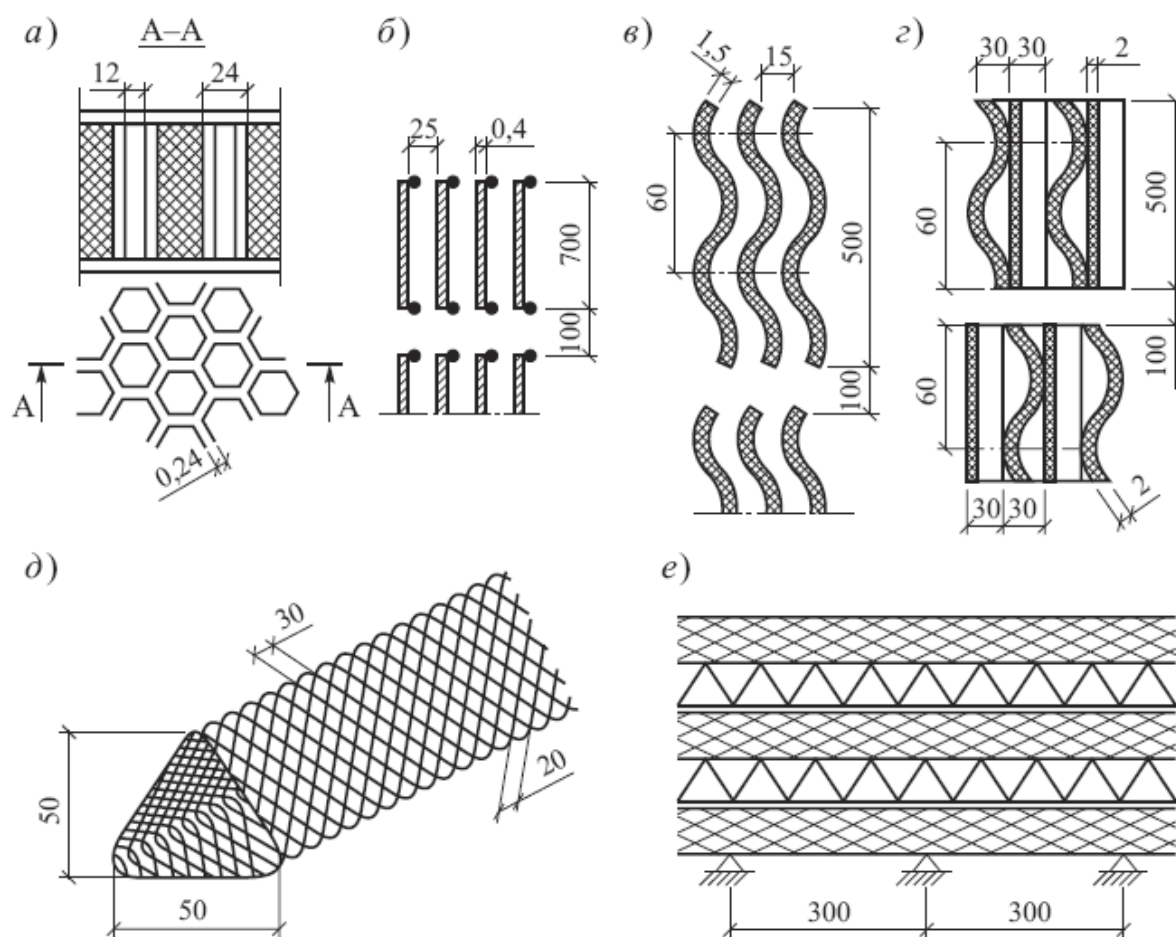


Рис. 1.14. Пленочные оросители из пластмасс:

а – сотоблочный; б – из перфорированного листа; в – из гофрированного листа; г – из волнистого листа; д – призма решетчатая; е – схема расположения призм в оросителе и водоуловителе градири.

Брызгальные оросители – это оросительные устройства, заполненные воздухом направляющими щитами, предназначенными для улучшения распределения воздушного потока. Щиты выполняются из досок, волнистых асбестолистов или листового стеклопластика (рис. 1.14). Охлаждающая способность этих оросителей примерно на 20 % ниже капельных при таком же расходе материала (дерева). Это обуславливает целесообразность применения градирен с такими оросителями только при невысоких требованиях к температуре охлажденной воды, содержащей большое количество механических загрязнений или веществ, способных образовывать трудноудаляемые отложения на элементах капельного и пленочного оросителя.

Плотность орошения для капельных оросителей башенных градирен обычно принимается равной не менее $0,8 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, для пленочных – $1,4 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Для вентиляторных градирен плотность орошения ориентировочно может быть принята: при пленочном оросителе – $2,2\text{--}3,3 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, капельном оросителе – $1,7\text{--}2,2 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ и брызгальном – $1,4\text{--}1,7 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

Водоуловительные установки. Вынос капель из градирен вызывает потери воды в системах водоснабжения промышленных предприятий. На некоторых предприятиях вынос недопустим по санитарным соображениям и для охраны окружающей среды. Учитывая, что размеры, мощность и число градирен на промышленных площадках непрерывно возрастают, количество уносимой из них воды весьма велико. С целью уменьшения ее выноса над водораспределителями градирен устанавливают водоуловители, что позволяет снизить вынос воды из градирни до 0,05–0,2% расхода оборотной воды.

Все известные конструкции водоуловителей работают по одному принципу – осаждение летящих вверх капель воды на препятствии за счет инерции при отклонении воздушного потока для огибания этого препятствия. В качестве препятствия используются деревянные, асбестоцементные или пластмассовые дощечки, планки, лопатки, соты (каналы) различной

конфигурации, располагаемые в 1–3 ряда, а также волокна сеток. Различные типы водоуловителей отличаются друг от друга не только материалом, но и формой указанных элементов (препятствий) и их расположением.

Установка водоуловителей в некоторой степени увеличивает аэродинамическое сопротивление градирен, которое зависит от ряда факторов: степени заполнения живого сечения водоуловителя лопатками, наклона, формы, их взаимного расположения, материала. Наличие водоуловителя в градирне приводит к неравномерности распределения потока воздуха перед вентилятором, что может привести к снижению КПД вентиляторной установки.

Открытые градирни

Открытые градирни бывают двух типов: брызгальные и капельные. Их применяют в системах водоснабжения с расходом оборотной воды от 15 до 500 м³/ч, допускающих временное нарушение технологического процесса отдельных установок. Градирня представляет собой брызгальный бассейн, огражденный со всех сторон жалюзийными решетками, уменьшающими вынос воды за пределы бассейна (рис. 1.15). Решетки выполняют из досок под углом 45–60° к горизонту. Градирни открытого типа, как правило, имеют капельный ороситель. Брызгальные открытые градирни в настоящее время практически не применяются.

В капельной градирне имеется ороситель из деревянных реек. В открытых брызгальных градирнях оросительное пространство остается свободным от решетки для беспрепятственного падения капель в бассейн. Распределение воды по площади оросителя осуществляется напорной трубчатой системой с водоразбрызгивающими соплами или безнапорной системой с применением желобов со сливными трубками и разбрызгивающими розетками. Водораспределительная система, как правило, выполняется двухзонной: верхняя — для летних условий эксплуатации и нижняя — для зимних. Водосборный бассейн открытых градирен выполняется под всем оросителем на ширину активной зоны. В плане градирни прямоугольной и квадратной формы

с максимальной шириной не более 4 м и длиной 20 м. Общая высота может достигать 16 м, а число ярусов решетников – 8–12.

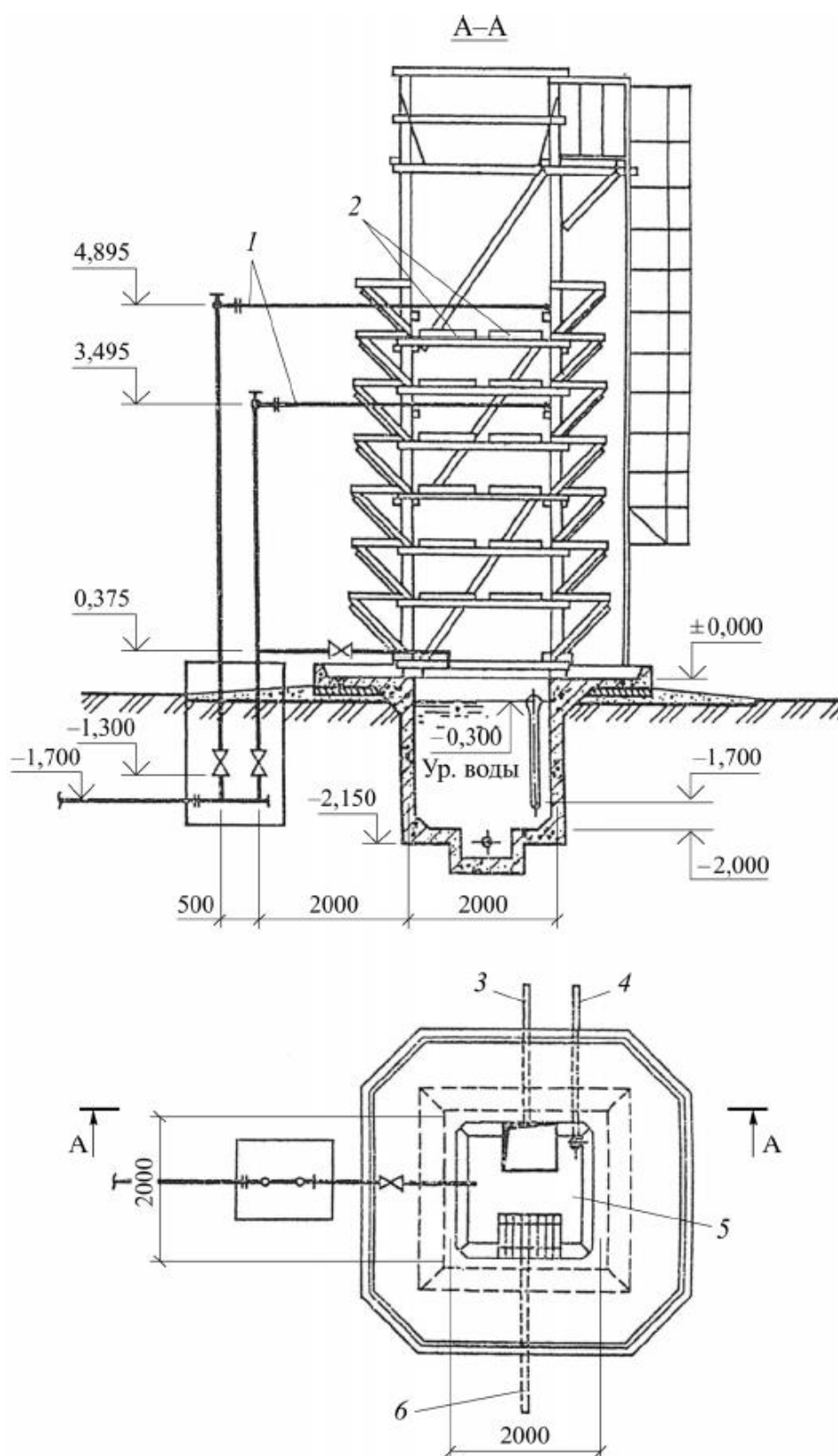


Рис. 1.15. Градирня открытого типа с капельным оросителем:

1 – водораспределительная система; 2 – ороситель из деревянных реек; 3 – грязевой трубопровод; 4 – переливной трубопровод; 5 – емкость для сбора охлаждающей воды; 6 – отводящий трубопровод

Область применения открытых градирен определяется следующими оптимальными условиями: удельная тепловая нагрузка 8–17 кВт/м²; плотность орошения 0,8–1,4 кг/(м²·с); перепад температур горячей и охлажденной воды 5–10 °С. Максимальная удельная тепловая нагрузка может составлять 35–60 кВт/м². С помощью этих градирен температуру охлажденной воды получают на 8–10 °С выше температуры по смоченному термометру.

Башенные градирни. В башенных градирнях с естественной тягой движение воздуха возникает вследствие разности массы столбов наружного воздуха и нагретого и увлажненного воздуха внутри градирни (рис. 1.16). Оросительные устройства в этих градирнях выполняют капельного, капельно-пленочного или пленочного типа.

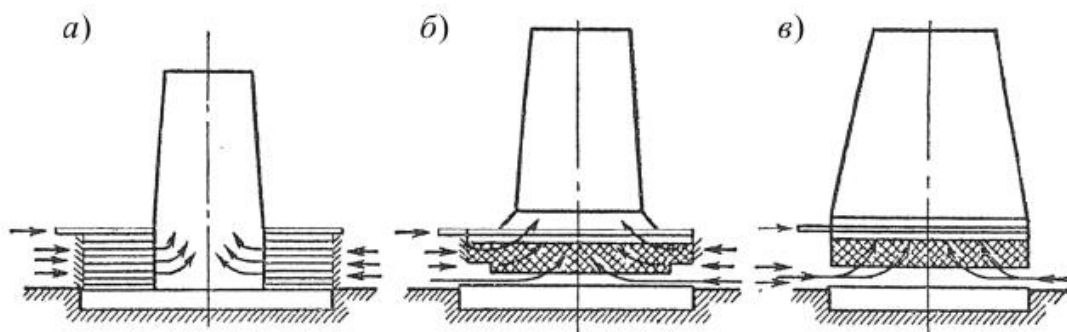


Рис. 1.16. Схемы башенных градирен с различным характером движения воздуха:

а – с поперечным; б – с поперечно-противоточным; в – с противоточным

В основном строят градирни с пленочными и капельно-пленочными оросителями с противоточным движением воздуха, обладающие наибольшей охлаждающей способностью (рис. 1.17). Наиболее сложным элементом башенной градирни является вытяжная башня, конструкция которой в основном определяется материалом, из которого ее сооружают. Вытяжные башни работают в очень тяжелых условиях: оболочка башен находится под

воздействием влажного теплого воздуха в градирне и холодного воздуха снаружи в зимний период, на внутренних поверхностях образуется конденсат. Таким образом, важен выбор материала.

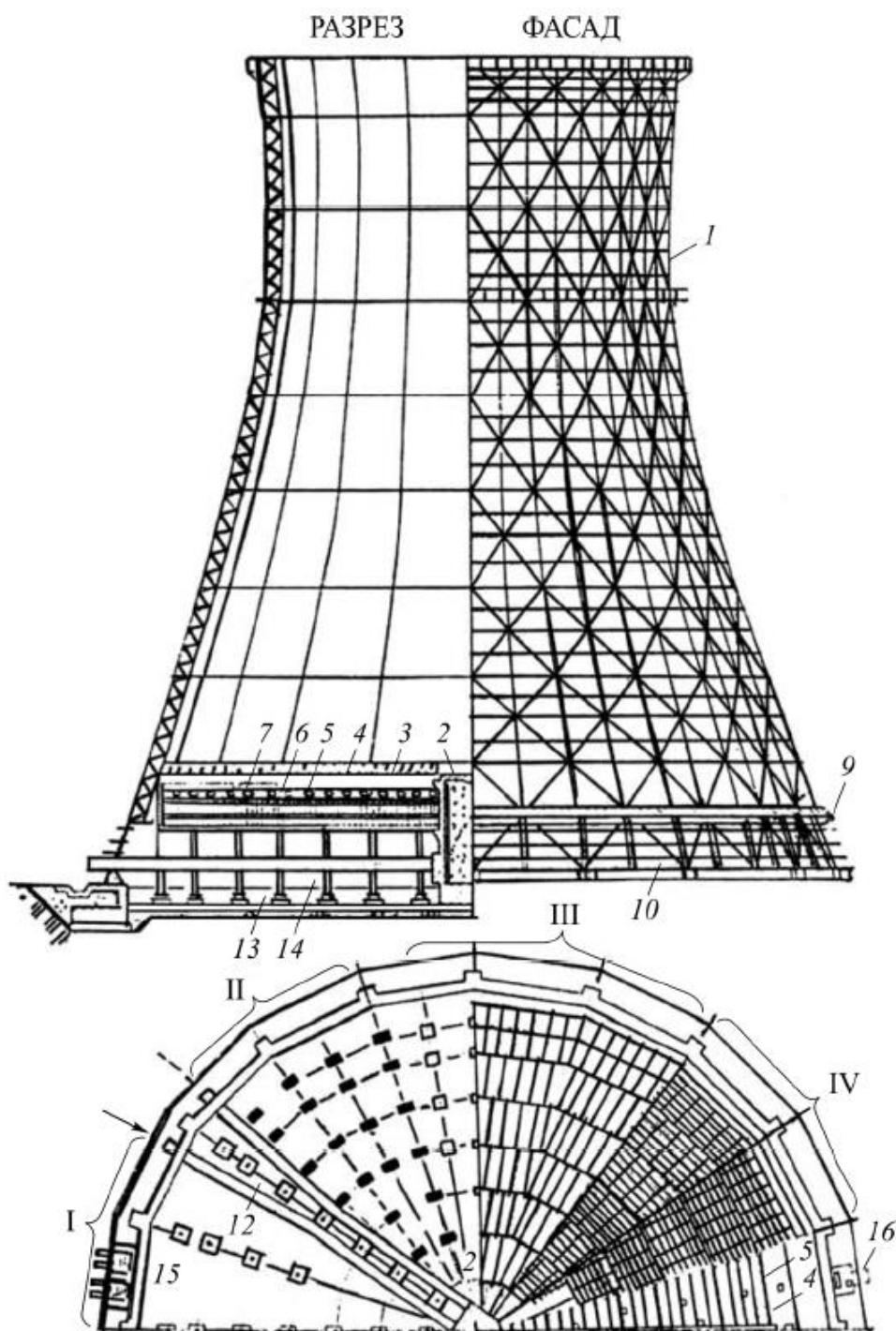


Рис. 1.17. Башенная противоточная градирня:

1 – вытяжная башня; 2 – водораспределительный стояк; 3 – водоуловитель; 4 – водораспределительная система; 5 – разбрызгивающие сопла; 6 – оросительное устройство; 7 – опорный каркас оросительного и водораспределительного устройства; 8 – воздуховодные окна; 9 –

воздухонаправляющий козырек; 10 – поворотные щиты для изменения количества поступающего воздуха в градирню; 11 – воздухораспределительное пространство; 12 – ветровые перегородки; 13 – водосборный бассейн; 14 – подводящие водоводы; 15 – отводящие водоводы; 16 – канализационный колодец; I – фундаменты колонн опорного каркаса; II – колонны опорного каркаса; III – балочная клеть под ороситель; IV – щиты оросителя

Опыт применения железобетона в градирнях показывает, что оболочки башен вследствие насыщения бетона изнутри влагой и многократного замерзания и оттаивания его под влиянием температур наружного воздуха в зимний период интенсивно разрушаются.

Металлические каркасно-обшивочные башни строят в районах с суровым зимним климатом. Они имеют пирамидальную форму с основанием в виде многоугольника или квадрата. Деревянный каркас используют в градирнях, имеющих небольшую площадь. Обшивка градирен должна быть плотной, не допускающей подсосывания наружного воздуха. Ее выполняют изнутри асбоцементными, пластмассовыми листами, деревом и иногда алюминием.

Подвод воздуха к оросителю в башенной градирне производится через входные окна по периметру градирни. Равномерность распределения воздуха оказывает большое влияние на охлаждающую способность градирни, что во многом зависит от размера окон. Их суммарная площадь принимается равной 35–45% площади градирни в плане. Для улучшения аэродинамических характеристик градирни над входными окнами устанавливается воздухонаправляющий козырек по всему ее периметру. Окна оборудуются поворотными и навесными щитами, позволяющими менять режим поступления воздуха в градирню с целью поддержания требуемого температурного режима.

Башенные градирни допускают более высокие тепловые нагрузки, чем открытые градирни. Область применения башенных градирен характеризуется следующими параметрами: удельная тепловая нагрузка – от 70 до 90 кВт/м²; перепад температур горячей и охлажденной воды – 5–15 °С; разность температуры охлажденной воды и температуры атмосферного воздуха по смоченному термометру – 6–8 °С, т.е. меньше, чем у открытых градирен. Таким

образом, охлаждение воды на этих градирнях происходит до более низких температур.

Типовыми проектами предусматриваются градирни с площадью орошения от 1200 до 3200 м² при гидравлической нагрузке от 400 до 6000 кг/с. Существуют градирни больших размеров, а соответственно и большей производительности. Определение технологических параметров градирен осуществляется аэродинамическим, термическим и гидравлическим расчетами. Все расчеты выполняются как для вновь проектируемых градирен, так и при привязке их типовых проектов к местным условиям строительства. При проектировании новых градирен предварительно выбирают тип и конструкцию градирни, основные размеры входных окон, воздухораспределителя, оросителя, водораспределителя и других элементов. При выборе типовых градирен эти параметры заданы.

Вентиляторные градирни (рис. 1.18) применяют в системах оборотного водоснабжения, требующих устойчивого и глубокого охлаждения воды, при необходимости маневренного регулирования температуры охлажденной воды, автоматизации поддержания заданной температуры охлажденной воды или охлаждаемого продукта, а также при необходимости сокращения объемов строительных работ.

Сооружение вентиляторных градирен дешевле башенных на 50–80% и брызгальных бассейнов на 30–50%. В сравнении с башенными градирнями они работают при низких напорах воды, однако для привода вентиляторов необходим значительный расход электроэнергии, а сами вентиляторы и их приводы нуждаются в постоянном уходе и ремонте.

По способу подачи воздуха в ороситель вентиляторные градирни бывают двух типов: нагнетательные и отсасывающие (см. рис. 1.18). При верхнем расположении вентиляторы отсасывают воздух из градирни, при нижнем – нагнетают. Для градирен используются специальные осевые отсасывающие или нагнетательные вентиляторы. Преимущественное распространение получили

градирни с отсасывающими вентиляторами. При отсасывающих вентиляторах обеспечивается более равномерное распределение воздуха по поперечному сечению в основании градирни, чем при нагнетательных, происходит меньший подсос влажного теплого воздуха, попадающего в градирню через входные окна. Нагнетательные вентиляторы применяют для градирен с малой площадью орошения.

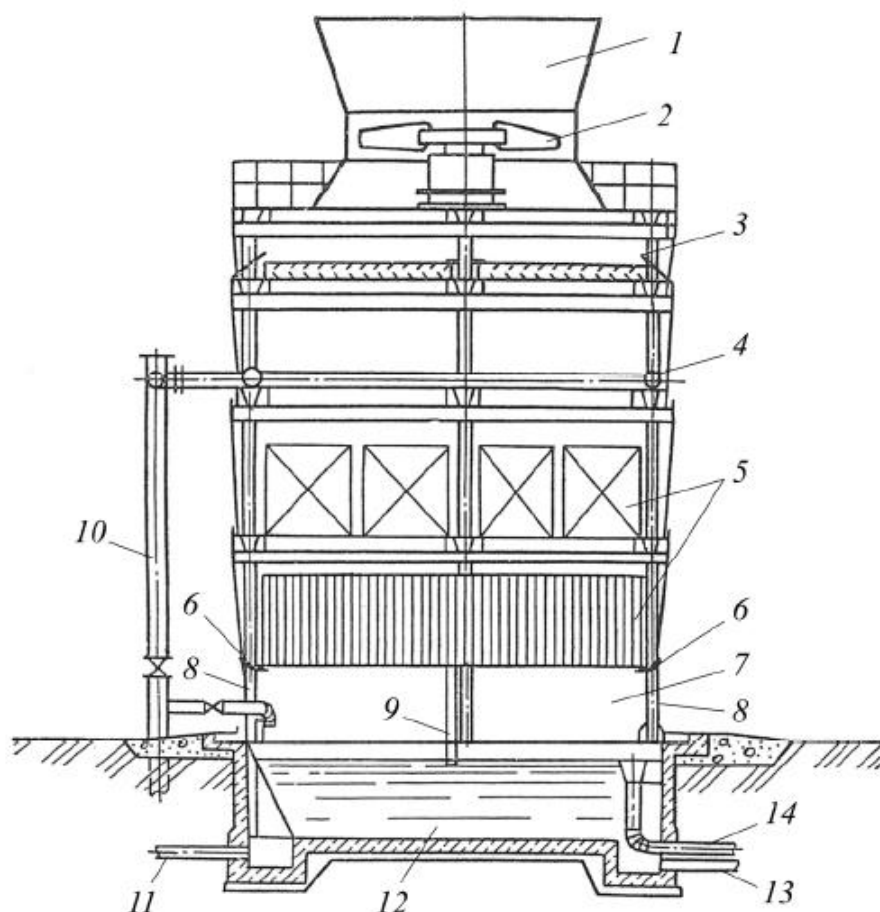


Рис. 1.18. Схема вентиляторной градирни с отсасывающим вентилятором:

1 – выхлопной патрубок; 2 – вентилятор; 3 – водоуловитель; 4 – водораспределительное устройство; 5 – оросительное устройство; 6 – воздугонаправляющий козырек; 7 – воздухораспределительное пространство; 8 – воздухоходные окна; 9 – ветровая перегородка; 10 – подводящий водопровод; 11 – отводящий водопровод; 12 – водосборный бассейн; 13 – грязевой водовод; 14 – переливной водовод

Для охлаждения оборотной воды в количестве 100–10 000 м³/ч применяют многосекционные отсасывающие градирни с секциями площадью до 200 м² каждая квадратной или прямоугольной формы в плане. При охлаждении

оборотной воды в количествах более 10 000 м³/ч применяются отсасывающие градирни площадью орошения 400 м² и более, круглые, квадратные, многоугольные в плане одновентиляторные и секционные.

Каркас градирен может быть стальным или железобетонным. Для обшивки градирен применяют дерево, асбестоцементные листы, стеклопластик. В градирнях применяют пленочный, капельно-пленочный, капельный и брызгальный оросители с противоточным движением воздуха в них. В южных районах, где нет опасности обмерзания градирен, возможно применение отсасывающих градирен с поперечным движением воздуха в оросителе. Суммарное аэродинамическое сопротивление поперечноточных градирен ниже, чем у противоточных. Капитальные затраты при их строительстве сокращаются.

Область применения вентиляторных отсасывающих градирен определяется следующими параметрами: удельная тепловая нагрузка – 90–120 кВт/м²; перепад температуры воды – до 25 °С и выше; разность температур охлажденной воды и температуры атмосферного воздуха по смоченному термометру – 4–5 °С. Приведенные данные указывают на то, что вентиляторные градирни могут охлаждать воду до более низких температур, чем башенные градирни, и тем более чем брызгальные бассейны и водохранилища-охладители (при равных условиях). Таким образом, для достижения одинакового эффекта охлаждения вентиляторные градирни требуют меньшей площади застройки по сравнению с другими охладителями воды. Однако вентиляторные градирни имеют один существенный недостаток, который иногда ограничивает их применение: для привода вентиляторов требуется электроэнергия, что приводит к увеличению эксплуатационных расходов.

Для охлаждения воды в количестве от 10 до 800 м³/ч для потребителей, находящихся внутри зданий, применяют нагнетательные вентиляторные градирни с противоточным и поперечным движением воздуха, которые

размещают на плоской кровле. Оросители в этих градирнях капельного и пленочного типа выполнены из дерева или пластмассы; каркас градирен из стали или алюминиевомагниевого сплава с асбестоцементной облицовкой. Градирня имеет поддон для сбора охлажденной воды слоем 100–150 мм. Необходимый аварийный запас воды хранится в резервуаре, установленном в здании или вне его. Градирни допускают плотность орошения от 1,1 до 3,3 кг/(м²·с) в зависимости от требований к температуре охлажденной воды.

Тепловой расчет вентиляторных градирен проводится по той же методике, что и расчет башенных градирен. При выборе типовых решений градирен пользуются графиками охлаждения, составленными на основе результатов обследований действующих градирен.

Сухие (радиаторные) градирни с момента изобретения предназначены для охлаждения конденсаторов электростанций. Они представляют собой теплообменные сооружения, в которых теплопередающей поверхностью служат радиаторы из оребренных трубок. Для создания тяги такие градирни могут быть оборудованы вентиляторами или вытяжной башней. Сухие градирни применяются как для непосредственного охлаждения продуктов производства, например конденсации, так и для охлаждения воды, охлаждающей, в свою очередь, теплообменные аппараты.

Передача тепла от нагретой среды, протекающей внутри трубок радиатора, атмосферному воздуху осуществляется без непосредственного контакта через сильно развитую поверхность ребер, имеющих на трубках, за счет теплопроводности и конвекции. Для интенсификации процессов теплопередачи ребристые трубы могут орошаться снаружи водой. Радиаторы изготавливаются самых разнообразных конструкций, главным образом из стали или алюминия.

Сухие градирни применяются в случаях:

- необходимости иметь закрытый, изолированный от контакта с атмосферным воздухом контур циркуляции воды в системе оборотного водоснабжения;

- высоких температур нагрева оборотной воды в теплообменных технологических аппаратах, не допускающих ее охлаждения в градирнях испарительного типа;

- отсутствия или серьезных затруднений в получении свежей воды на пополнение безвозвратных потерь в оборотных циклах.

Сухие градирни не имеют широкого распространения в сравнении с испарительными градирнями из-за их высокой стоимости, небольшой производительности и большого расхода электроэнергии. В теплое время года температура охлажденной воды значительно выше, чем в испарительных градирнях, и бывает на 15–20 °С выше температуры воздуха. Зимой вода охлаждается до более низких температур и составляет 5–6 °С.

Гибридная градирня – это комбинированное сооружение, в котором совмещены процессы тепломассообмена, присущие испарительной и сухой градирням. Тяга воздуха может создаваться вытяжной башней, вентилятором или совместно башней и несколькими вентиляторами, размещенными по периметру башни в ее нижней части.

Технологические и технико-экономические показатели гибридных градирен лучше в сравнении с сухими, но уступают испарительным. Они имеют меньше дорогостоящего теплообменного оборудования, и охлаждающая способность их в меньшей мере зависит от изменения температуры воздуха. К достоинствам гибридных градирен можно отнести заметное снижение безвозвратных потерь воды в сравнении с испарительными градирнями и возможность работы без видимого парового факела. В то же время гибридные градирни более сложны при проектировании и строительстве, требуют повышенного внимания и обслуживания при эксплуатации не только самих градирен, но и системы водооборота в целом. При недостаточно качественной оборотной воде на стенках внутри труб радиаторов образуются солевые отложения, а оребрения труб загрязняются пылью входящего воздуха, что приводит к резкому возрастанию теплового сопротивления. Это вызывает

нарушение расчетных режимов работы сухой и испарительной частей, а также аварийные ситуации в зимнее время. В нашей стране гибридные градирни не получили распространения из-за повышенных требований при эксплуатации и большей стоимости в сравнении с обычными испарительными градирнями.

1.3.6. Основы обработки охлаждающей воды. Стабильность воды по карбонату кальция. Углекислотные равновесия. Индексы стабильности воды

Стабильность воды является одним из основных показателей ее качества. Обесцвеченную и осветленную на очистных сооружениях воду нельзя считать удовлетворительной по качеству, если она, проходя по трубам, приобретает окраску или образует осадок.

Нарушение стабильности воды может быть вызвано наличием растворенной угольной кислоты, сероводорода или кислорода, низким значением pH, пересыщенностью угольной кислоты или кислорода, пересыщенностью ее карбонатом кальция или гидроксидом магния, повышенной концентрацией сульфатов либо хлоридов.

В природных водах углекислота содержится в виде недиссоциированных молекул H_2CO_3 (обычно в очень малых концентрациях), молекулярно растворенного углекислого газа CO_2 , бикарбонатных ионов HCO_3^- , а при величине $\text{pH} > 8,4$ в виде карбонатных ионов.

Угольная кислота имеет две ступени диссоциации:



Из уравнений диссоциации угольной кислоты следует, что соотношения между ее соединениями в растворе CO_2 , HCO_3^- и CO_3^{2-} при данной температуре зависят от концентрации водородных ионов, т.е. от величины pH. При температуре 25° при значениях $\text{pH} = 3,7\text{--}4,0$ вся находящаяся в воде угольная кислота представлена только одним соединением CO_2 . По мере повышения

значений pH доля CO_2 уменьшается при одновременном увеличении доли HCO_3^- . При значениях $\text{pH} = 8,3-8,4$ практически вся присутствующая в воде угольная кислота представлена бикарбонат-ионами HCO_3^- (более 98%), а на долю $\text{CO}_2 + \text{CO}_3^{2-}$ приходится менее 2%. При дальнейшем повышении значений pH воды (более 8,3–8,4) свободной углекислоты в воде уже нет, а доля карбонатных ионов CO_3^{2-} возрастает при одновременном уменьшении доли HCO_3^- . При величине $\text{pH} = 12$ вся углекислота представлена только одним соединением CO_3^{2-} .

В водных растворах существует динамическое равновесие между различными формами угольной кислоты:



Из этого уравнения следует, что для поддержания в растворе опресненной концентрации бикарбонатных ионов требуется, чтобы в растворе находилось соответствующее этой концентрации количество свободной углекислоты.

При недостатке количества углекислоты CO_2 возникает тенденция к распаду части бикарбонатных ионов, т.е. к сдвигу равновесия, описываемого уравнением (1.21), вправо с образованием дополнительного количества CO_2 и одновременно ионов CO_3^{2-} . Увеличение концентрации карбонатных ионов приводит к тому, что они будут реагировать с находящимися в воде ионами кальция, образуя карбонат кальция по реакции:



Воду, содержащую свободную углекислоту в концентрации, превышающей равновесную, называют агрессивной, поскольку она вызывает коррозию стальных трубопроводов. Вода, содержащая избыток карбонатных ионов, считается нестабильной по карбонату кальция, вызывая выделение карбонатных отложений из воды на теплопередающих поверхностях оборудования и трубопроводов.

Оценку термостабильности воды (степени насыщения воды по карбонату кальция) определяют расчетным путем по данным физико-химического состава. Для этого разработаны специальные критерии (индексы).

В настоящее время специалистами используются несколько индексов (Ланжелье, Ризнера, Сноинка-Джексона и др). Каждому индексу соответствует модель состава стабильной воды, описывающая процесс образования карбонатных отложений. Наличие разных индексов говорит о сложности происходящих в природных водах процессов и невозможности создать универсальную модель.

Ланжелье предложил характеризовать условия стабильности воды с помощью индекса насыщения:

$$J = pH - pH_s, \quad (1.23)$$

где pH – значение рН воды, pH_s – величина pH , отвечающая равновесному состоянию в растворе углекислых соединений или «величина равновесного насыщения воды карбонатом кальция».

Величина pH_s определяется по следующей формуле:

$$pH_s = pK_2 - p\Pi_{CaCO_3} - \lg[Ca^{2+}] - \lg Щ + 2,5\sqrt{\mu} + 7,6, \quad (1.24)$$

Формула (1.24) получена из уравнений I и II ступеней диссоциации угольной кислоты и уравнения произведения растворимости карбоната кальция.

Ионная сила вычисляется по формуле:

$$\mu = 0,5(C_1Z_1^2 + C_2Z_2^2 + \dots + C_nZ_n^2), \quad (1.25)$$

где C_1, C_2, C_n – концентрации ионов 1, 2... n, г-ион/л; Z_1, Z_2, Z_n – валентности тех же ионов.

Формулу (1.24) представляют в удобном для расчетов виде:

$$pH_s = f_1(t) - f_2(Ca^{2+}) - f_3(Щ) + f_4(P), \quad (1.26)$$

где: $f_1(t)$ – функция температуры воды, позволяющая определить значения термодинамических констант от температуры; $f_2(Ca^{2+})$ – функция концентрации

иона кальция; $f_3(Щ)$ – функция концентрации щелочности; $f_4(P)$ – функция общего солесодержания воды.

Расчеты по формуле (1.26) удобно проводить с помощью расчетного графика, показанного на рис. 1.19. Слева на каждой шкале отложены числовые значения показателей качества воды, справа – значения функций этих величин, которые подставляют в формулу (1.26).

Оценка стабильности воды, т.е. величины отклонения ее углекислотной системы от равновесного состояния производится путем сравнения измерений величины рН воды с вычисленным по формуле (1.26) значением величины pH_s . Если $pH < pH_s$, это указывает на то, что концентрация углекислоты в воде превышает равновесную. Такую воду называют агрессивной или коррозионной. Значение индекса Ланжелье J , соответствующее коррозионной воде – отрицательно. Считая, что коррозионная вода, растворяя карбонат кальция, исключает возможность образования на стенках стальных и чугунных труб защитной карбонатной пленки и способствует растворению коррозионных железистых отложений. При отсутствии карбонатной защитной пленки поверхность металла оказывается легко подвержена коррозии, особенно при наличии в воде растворенного кислорода.

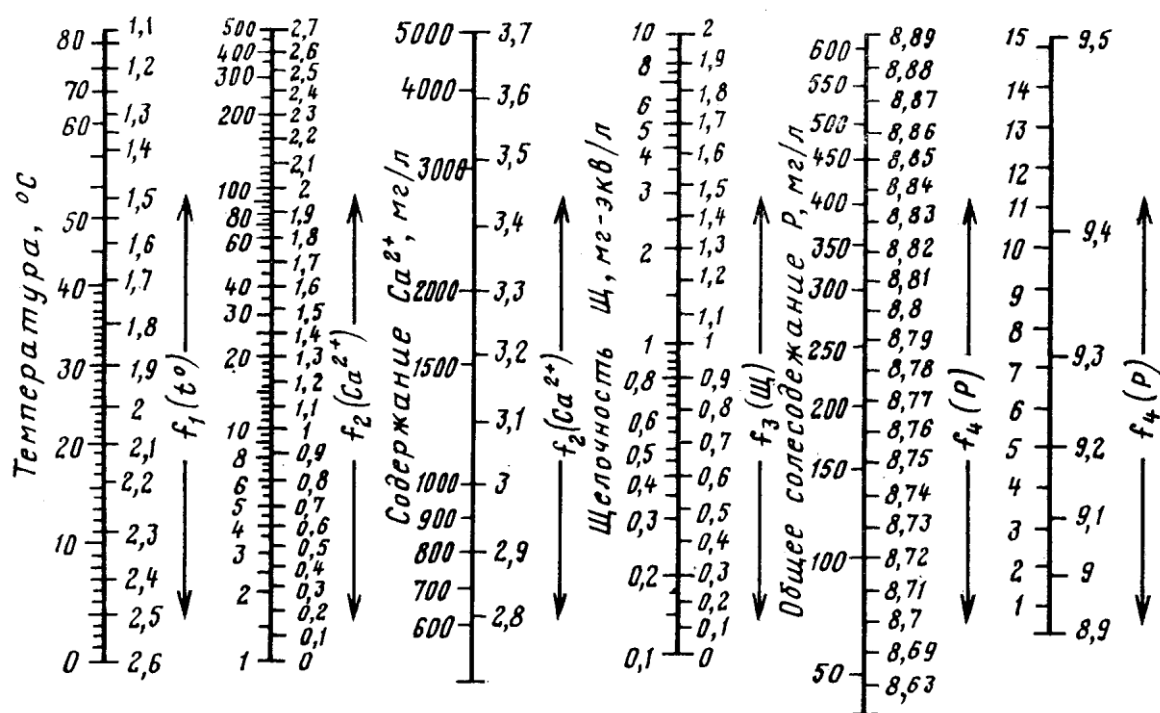


Рис. 1.19. Номограмма для нахождения pH_s .

При $pH > pH_s$ в воде не хватает свободной углекислоты по сравнению с ее равновесной концентрацией. Такую воду называют некоррозионной или неагрессивной. Значение индекса Ланжелье при $pH > pH_s$ отрицательно, при таком состоянии вода является пересыщенной по карбонату кальция и в ней существует опасность образования карбонатных отложений. Рекомендуемое значение индекса Ланжелье в системах оборотного водоснабжения составляет от 0 до 1.

Индекс Ризнера дает несколько другие численные значения характеристик стабильной воды:

$$R = 2pH_s - pH, \quad (1.27)$$

где pH – измеренное значение pH воды, pH_s – значение, вычисленное по формуле (1.26) и рис. 1.19.

Рекомендуемое значение R для стабильной воды должно находиться в пределах от 6 до 7.

Индекс Сноинка-Джексона (SN) также представляет собой разность между фактическим значением pH воды и гипотетической величиной H_{SN} , соответствующей состоянию насыщения по карбонату кальция.

Однако, в отличие от индекса Ланжелье, индекс SN учитывает недостающие при определении общей щелочности концентрации ионов CO_3^{2-} и OH^- из уравнения:

$$\text{Щ} = [HCO_3^-] + [CO_3^{2-}] + [OH^-]. \quad (1.28)$$

Индекс Сноинка-Джексона определяется путем совместного решения уравнения второй ступени диссоциации угольной кислоты, уравнения произведения растворимости, ионного произведения воды:

$$f_H[H^+] \cdot f_{OH}[OH] = K[H_2O] = K_{IN}, \quad (1.29)$$

Из уравнений (1.28) и (1.29) получим:

$$H_{SN}^+ = [Ca^{2+}] \cdot [HCO_3^-] \cdot \frac{K_2}{\text{ПР}_{CaCO_3}} \cdot \frac{f_{Ca^{2+}} \cdot f_{HCO_3^-} \cdot f_{CO_3^{2-}}}{f_{H^+}}. \quad (1.30)$$

Из формулы (1.30), получено уравнение для определения значения индекса Сноинка-Джексона:

$$H_{SN}^+ = [Ca^{2+}] \cdot \frac{K_2}{\text{ПР}_{CaCO_3}} \cdot \left(\text{Щ} - \frac{K_w}{f_H[H^+]} \right) \cdot \left(\frac{[H^+] \cdot f_H}{f_H[H^+] - K_2} \right) \cdot \frac{f_{Ca^{2+}} \cdot f_{HCO_3^-} \cdot f_{CO_3^{2-}}}{f_{H^+}}. \quad (1.31)$$

Индекс Сноинка-Джексона при расчете pH_{SN} учитывает значение pH исходной воды, что дает более точные данные стабильности воды.

Описанные индексы имеют пределы применимости. Они отражают лишь те коррозионные свойства воды, которые зависят от наличия в воде агрессивной уголекислоты. Они не применимы для определения агрессивности воды, контактирующей с пассивирующимися металлами, скорость коррозии которых уменьшается с повышением концентрации кислорода.

1.3.7. Стабилизационная обработка воды

Для борьбы с коррозией стальных и чугунных труб в промышленном водоснабжении применяют ингибитор *гексаметафосфат* или *триполифосфат*

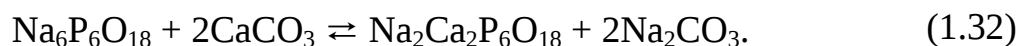
натрия. Их действие проявляется в образовании защитных пленок на катодных и анодных участках поверхности металла и в торможении коррозионного процесса.

Доза гексаметафосфата или триполифосфата натрия, применяемых для обработки воды, используемой только в промышленном водоснабжении, принимается равной 2–4 мг/л. При вводе в эксплуатацию новых участков трубопроводов предусматривают заполнение их на 2–3 сут раствором указанных реагентов с концентрацией 200–250 мг/л.

При стабилизационной обработке фосфатными реагентами воды, используемой для питьевых целей, остаточное содержание фосфат-ионов в соответствии с СанПиН 2.1.4.1074-01 не должно превышать 3,5 мг/л.

При положительном индексе насыщения воду стабилизируют добавлением ингибиторов – гексаметафосфата, натрия, триполифосфата натрия, тринатрийфосфата.

Гексаметафосфат натрия ($\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$) обладает поверхностно-активными свойствами и адсорбируется на поверхности зародышей кристаллов карбоната кальция в виде пленки гексаметафосфата кальция и натрия согласно уравнению



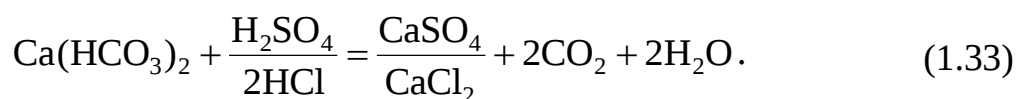
Изолируя зародыши, пленка препятствует росту микрокристаллов. Следовательно, действие реагента сводится к торможению роста кристаллов карбоната кальция, повышая их растворимость.

Стабилизационная обработка важна для предотвращения образования накипи в теплообменниках. В основе действия тринатрийфосфата ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) *лежит перевод накипи в шлам. Реагент формирует в воде малорастворимый ортофосфат кальция, который, адсорбируясь на гранях кристаллов карбоната кальция, вызывает изменение их формы и препятствует агломерации первичных агрегатов, в результате вместо накипи образуется рыхлый, легко удаляемый шлам.*

Следует иметь в виду, что защитное действие фосфатов ограничивается карбонатной жесткостью воды 5,5–6,0 мг-экв/л, выше которой наблюдается рост кристаллов и выпадение карбоната кальция.

Для борьбы с процессами солеотложений и коррозии институтом ИРЕА (Москва) разработаны новые реагенты: Аминат А и Аминат ОД.

При положительном индексе насыщения воду стабилизируют подкислением серной или соляной кислотой, обработкой гексаметафосфатом или триполифосфатом натрия:



При подкислении понижается содержание в воде гидрокарбонатов и увеличивается концентрация оксида углерода (IV), который, находясь в равновесном состоянии с гидрокарбонатами, препятствует образованию карбоната кальция и зарастанию трубопроводов.

Подкисляют воду технической серной или соляной кислотой. Серная кислота (ГОСТ 2184-87*) представляет собой бесцветную маслянистую жидкость, содержащую 75...92,5% H_2SO_4 . Поставляется в стальных цистернах или стеклянных бутылках. Соляная кислота (ГОСТ 1382-89) – бесцветная дымящаяся жидкость, содержащая не менее 27,5% HCl , поставляется в гуммированных цистернах или стеклянных бутылках. Эти кислоты смешиваются с водой в любых соотношениях. Для подкисления воды применяют растворы кислот. Учитывая высокую коррозионную активность разбавленных серной и соляной кислот, для их приготовления, транспортирования и хранения следует применять кислотостойкое оборудование и аппаратуру.

Дозу кислоты, мг/л, в пересчете на товарный продукт находят по формуле

$$D_{\text{кис}} = \frac{\alpha e_{\text{кис}} III}{C_{\text{кис}}} 100, \quad (1.34)$$

где α – коэффициент, зависящий от pH среды (определяется по графикам 1.20);
 $Щ$ – щелочность воды до стабилизационной обработки, мг-экв/л; $e_{кис}$ – эквивалентная масса кислоты, мг/мг-экв (для серной кислоты $e_{кис} = 49$, для соляной – 36,5); $C_{кис}$ – содержание активной кислоты в товарном продукте, %.

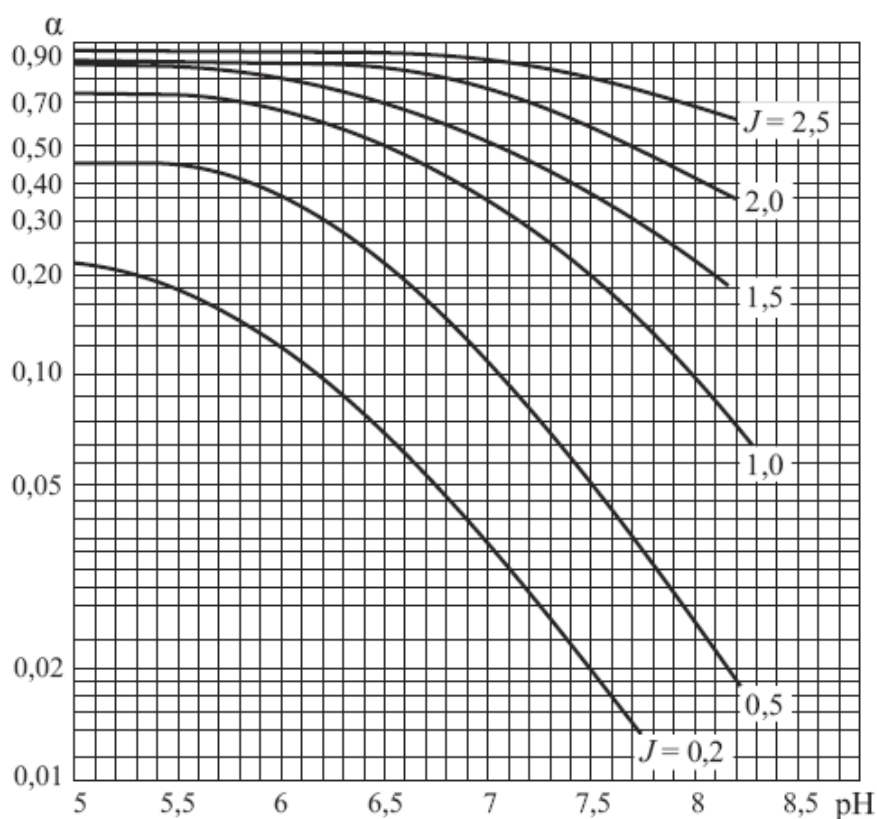


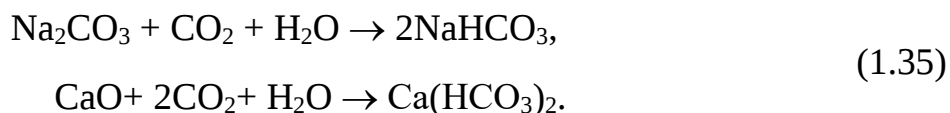
Рис. 1.20. Графики $\alpha = f(pH)$

Стабилизационная обработка воды при отрицательном индексе стабильности заключается в ее подщелачивании, фильтровании через мраморную крошку или магномассу, или удалении оксида углерода (IV) аэрированием. При этом предусматривается также создание условий для образования защитной карбонатной пленки на внутренней поверхности труб.

В качестве подщелачивающих реагентов используют едкий натр, известь или соду. Соду применяют только в том случае, если в воде содержатся ионы кальция в количестве, достаточном для образования защитной пленки карбоната кальция. Щелочные реагенты следует подавать в очищенную воду

перед вторичным хлорированием и поступлением ее в резервуары чистой воды, в связи с чем необходимо обеспечить хорошее осветление растворов реагентов. Допускается введение щелочных реагентов до отстойников или фильтров, если это не ухудшает технологического процесса очистки воды и не снижает эффективности ее стабилизационной обработки.

Указанные реагенты, применяемые для стабилизации воды связывают оксид углерода (IV) по реакциям



Стабилизацию воды, содержащей оксид углерода (IV), производят фильтрованием ее в открытых безнапорных фильтрах через мраморную крошку (CaCO_3), полубоженный доломит-магномассу $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgO}$ или обожженный магнезит MgO . Фильтры загружают крошкой перечисленных выше материалов с размером частиц 0,5–3 мм, высоту слоя принимают равной до 2 м, скорость фильтрования воды через мраморную крошку – до 10, через магномассу – 10–20 м/ч; она зависит от температуры и щелочности воды, а также от концентрации в ней агрессивного оксида углерода (IV). Промывают фильтрующий слой восходящим потоком воды с интенсивностью 15 л/(с·м²) в течение 10...15 мин.; при водовоздушной промывке интенсивность подачи воздуха – 20...25 л/(с·м²) в течение 5 мин. с последующей промывкой водой с интенсивностью 3...4 л/(с·м²) в течение 2–3 мин. Содержание железа в поступающей на фильтры воде не должно превышать 0,5 мг/л. Большие концентрации железа приводят к цементированию зерен фильтрующей загрузки. Фильтры периодически догружают зернистым активным материалом, пополняя его расход на стабилизационную обработку воды; для связывания 1 мг агрессивного оксида углерода (IV) расходуется 2,3 мг мрамора или 1,1 мг магномассы.

Стабилизация воды на малых водоочистных установках при отрицательном индексе насыщения может быть достигнута удалением из нее

избыточного оксида углерода (IV). С этой целью воду пропускают через вакуумно-эжекционный аппарат или вентиляторную градирню с кольцевой пластмассовой насадкой или насадкой из колец Рашига. Нагрузка на градирню в первом случае составляет 70, во втором – 60 м³/(м²·ч), расход воздуха принимают равным 20 м³/м³ воды. Значение рН воды после градирни определяют по номограмме (см. рис. 2.50), принимая остаточное содержание СО₂ в воде равным 8–10 мг/л (до 3–5 мг/л) и щелочность воды равной исходной.

Для борьбы с коррозией труб рекомендуется магнитная обработка воды. Предполагают, что под действием магнитного поля растворенный в воде кислород активизируется и образует с железом ферромагнитные оксиды, предохраняющие поверхность металла от агрессивных сред. Концентрация кислорода в воде при этом уменьшается. Применяют магнитные установки чаще всего в системах оборотного водоснабжения.

При наложении магнитного поля в массе воды формируются центры кристаллизации, вследствие чего выделение накипеобразователей происходит не на теплопередающей поверхности нагрева или охлаждения, а в объеме воды с образованием вместо твердой накипи мигрирующего тонкодисперсного шлама, легко удаляемого с поверхности теплообменников и трубопроводов. Вода в магнитных аппаратах должна двигаться перпендикулярно магнитным силовым линиям.

Глава 2. Системы водоподготовки промышленных предприятий

2.1. Умягчение воды

2.1.1. Теоретические основы умягчения воды, классификация методов

Под умягчением воды подразумевается процесс удаления из нее катионов жесткости, т.е. кальция и магния. Обычно используемые водоисточники имеют

жесткость, отвечающую нормам хозяйственно-питьевых вод, и в умягчении не нуждаются. Умягчение воды производят в основном при ее подготовке для технических целей: так отдельные виды производств требуют глубокого умягчения технической воды (до 0,05...0,01 мг-экв/л), а жесткость воды для питания барабанных котлов не должна превышать 0,005 мг-экв/л.

Умягчение воды осуществляют методами: термическими, основанными на нагревании воды, ее дистилляции или вымораживании; реагентными, при которых находящиеся в воде ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} связывают различными реагентами в практически нерастворимые соединения; ионного обмена, основанного на фильтровании умягчаемой воды через специальные материалы, обменивающие входящие в их состав ионы Na^+ или H^+ на ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} , содержащиеся в воде; диализа; комбинированным, представляющим собой различные сочетания перечисленных методов.

Выбор метода умягчения воды определяется ее качеством, необходимой глубиной умягчения и технико-экономическими соображениями. В соответствии с рекомендациями СП при умягчении на хозяйственно-питьевые нужды следует применять реагентные методы (известковый или известково-содовый) и метод частичного Na-катионирования. Основные характеристики и условия применения методов умягчения воды приведены в табл. 2.1.

При необходимости частичного умягчения воды обычно умягчают ее некоторую часть с последующим смешением с исходной водой, при этом количество умягчаемой воды Q_y , определяют по формуле

$$Q_y = \frac{Ж_{ou} - Ж_{oc}}{Ж_{ou} - Ж_{oy}}, \quad (2.1)$$

где $Ж_{ou}$ – общая жесткость исходной воды; $Ж_{oc}$ – общая жесткость воды, поступающей в сеть; $Ж_{oy}$ – общая жесткость умягченной воды, мг-экв/л.

Таблица 2.1

Показатель	Методы умягчения воды
------------	-----------------------

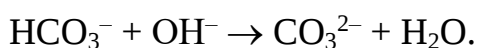
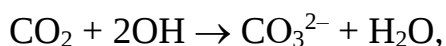
	Термический	Реагентный	Ионообменный	Диализ
Характеристика процесса	Воду нагревают до температуры выше 100°C, при этом удаляется карбонатная и некарбонатная жесткости (в виде карбоната кальция, гидроксида магния и гипса)	В воду добавляют известь, устраняющую карбонатную и магниевую жесткость, а также соду, устраняющую некарбонатную жесткость	Умягчаемая вода пропускается через катионитовые фильтры	Исходная вода фильтруется через полупроницаемую мембрану
Назначение метода	Устранение карбонатной жесткости из воды, употребляемой для питания котлов низкого и среднего давления	Неглубокое умягчение при одновременном осветлении воды от взвешенных веществ	Глубокое умягчение воды, содержащей незначительное количество взвешенных веществ	Глубокое умягчение воды
Расход воды на собственные нужды	—	Не более 10%	До 30% и более пропорционально жесткости исходной воды	10
Условия эффективного применения:				
Мутность исходной воды, мг/л	До 50	До 500	Не более 8	До 2,0
Жесткость воды, мг-экв/л	Карбонатная жесткость с преобладанием $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ некарбонатная жесткость в виде гипса	5...30	Не выше 15	До 10,0
Остаточная жесткость воды, мг-	Карбонатная жесткость до 0,035, CaSO_4 до	До 0,70	0,03...0,05 при одноступенчатом и до 0,01	0,01 и ниже

экв/л	0,70		при двухступенчат ом катионирован ии	
Температура воды, °С	До 270	До 90	до 30 (глауконит), до 60 (сульфоугли)	До 60

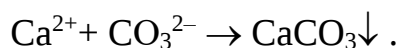
2.1.2. Реагентные и термохимические методы умягчения.

Умягчение воды реагентными методами основано на обработке ее реагентами, образующими с кальцием и магнием малорастворимые соединения: $Mg(OH)_2$, $CaCO_3$, $Ca_3(PO_4)_2$, $Mg_3(PO_4)_2$ и другие с последующим их отделением в осветлителях, тонкослойных отстойниках и осветлительных фильтрах. В качестве реагентов используют известь, кальцинированную соду, гидроксиды натрия и бария и другие вещества.

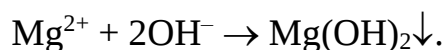
Умягчение воды известкованием применяют при ее высокой карбонатной и низкой некарбонатной жесткости, а также в случае, когда не требуется удалять из воды соли некарбонатной жесткости. В качестве реагента используют известь, которую вводят в виде раствора или суспензии (молока) в предварительно подогретую обрабатываемую воду. Растворяясь, известь обогащает воду ионами OH^- и Ca^{2+} , что приводит к связыванию растворенного в воде свободного оксида углерода (IV) с образованием карбонатных ионов и переходу гидрокарбонатных ионов в карбонатные:



Повышение в обрабатываемой воде концентрации ионов CO_3^{2-} и присутствие в ней ионов Ca^{2+} с учетом введенных с известью приводит к повышению произведения растворимости и осаждению малорастворимого карбоната кальция:



При избытке извести в осадок выпадает и гидроксид магния:



Для ускорения удаления дисперсных и коллоидных примесей и снижения щелочности воды одновременно с известкованием применяют коагуляцию этих примесей сульфатом железа (II), т.е. $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Остаточная жесткость умягченной воды при декарбонизации может быть получена на 0,4...0,8 мг-экв/л больше некарбонатной жесткости, а щелочность 0,8...1,2 мг-экв/л. Доза извести D_u определяется соотношением концентрации в воде ионов кальция и карбонатной жесткости:

а) при соотношении $[\text{Ca}^{2+}]/20 < J_k$,

$$D_u = 28 \left(\frac{[\text{CO}_2]}{22} + 2J_k - \frac{[\text{CO}^{2+}]}{20} + \frac{D_k}{e_k} + 0,5 \right), \quad (2.2)$$

б) при соотношении $[\text{Ca}^{2+}]/20 > J_k$,

$$D_u = 28 \left(\frac{[\text{CO}_2]}{22} + J_k - \frac{[\text{CO}^{2+}]}{20} + \frac{D_k}{e_k} + 0,3 \right), \quad (2.3)$$

где $[\text{CO}_2]$ – концентрация в воде свободного оксида углерода (IV), мг/л; $[\text{Ca}^{2+}]$ – концентрация ионов кальция, мг/л; J_k – карбонатная жесткость воды, мг-экв/л; D_k – доза коагулянта (FeSO_4 или FeCl_3 в пересчете на безводные продукты), мг/л; e_k – эквивалентная масса активного вещества коагулянта, мг/мг-экв (для FeSO_4 $e_k = 76$, для FeCl_3 $e_k = 54$); 0,5 и 0,3 – избыток извести для обеспечения большей полноты реакции, мг-экв/л.

Выражение D_k/e_k берут со знаком минус, если коагулянт вводится раньше извести, и со знаком плюс, если совместно или после.

При отсутствии экспериментальных данных дозу коагулянта находят из выражения

$$D_k = 3(C)^{1/3}, \quad (2.4)$$

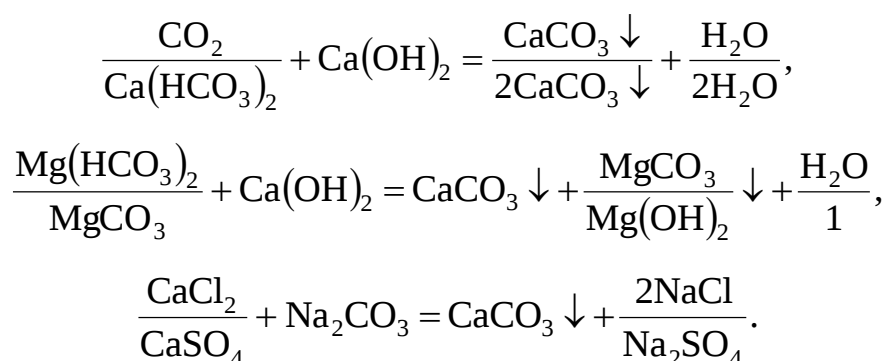
где C – количество взвеси, образующейся при умягчении воды (в пересчете на сухое вещество), мг/л.

В свою очередь, C определяют, используя зависимость

$$C = M_u + 50 \left(\frac{[\text{CO}_2]}{22} + 2\mathcal{J}_\kappa \right) + 29 \frac{[\text{Mg}^{2+}]}{12} + D_u \left(\frac{100 - m}{100} \right), \quad (2.5)$$

где M_u – содержание взвешенных веществ в исходной воде, мг/л; m – содержание CaO в товарной извести, %.

Известково-содовый метод умягчения воды описывается следующими основными реакциями:



По этому методу остаточная жесткость может быть доведена до 0,5...1, а щелочность с 7 до 0,8...1,2 мг-экв/л.

Дозы извести D_u и соды D_c (в пересчете на Na_2CO_3), мг/л, определяют по формулам

$$D_u = 28 \left(\frac{[\text{CO}_2]}{22} + \mathcal{J}_\kappa - \frac{[\text{Mg}^{2+}]}{12} + \frac{D_\kappa}{e_\kappa} + 0,5 \right), \quad (2.6)$$

$$D_c = 53 \left(\mathcal{J}_{\text{нк}} + \frac{D_\kappa}{e_\kappa} + 1 \right), \quad (2.7)$$

где $[\text{Mg}^{2+}]$ – содержание в воде магния, мг/л; $\mathcal{J}_{\text{нк}}$ – некарбонатная жесткость воды, мг-экв/л.

При известково-содовом методе умягчения воды образующиеся карбонат кальция и гидроксид магния могут пересыщать растворы и долго оставаться в коллоидно-дисперсном состоянии. Их переход в грубодисперсный шлам длителен, особенно при низких температурах и наличии в воде органических примесей, которые действуют как защитные коллоиды. При большом их количестве жесткость воды при реагентном умягчении воды может снижаться всего на 15...20%. В подобных случаях перед умягчением или в процессе его из

воды удаляют органические примеси окислителями и коагулянтами. При известково-содовом методе часто процесс проводят в две стадии. Первоначально из воды удаляют органические примеси и значительную часть карбонатной жесткости, используя соли алюминия или железа с известью, проводя процесс при оптимальных условиях коагуляции. После этого вводят соду и остальную часть извести и доумягчают воду. При удалении органических примесей одновременно с умягчением воды в качестве коагулянтов применяют только соли железа, поскольку при высоком значении pH воды, необходимом для удаления магниевой жесткости, соли алюминия не образуют сорбционно-активного гидроксида. Дозу коагулянта при отсутствии экспериментальных данных рассчитывают по формуле (2.4). Количество взвеси определяют по формуле

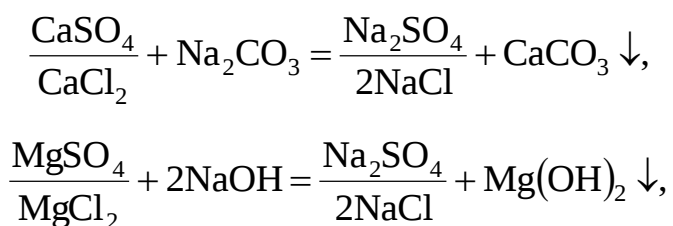
$$C = M_u + 50 \left(Ж_o + Ж_k + \frac{[CO_2]}{22} + 0,5 \right) + 29 \frac{[Mg^{2+}]}{12} + D_u \left(\frac{100 - m}{100} \right), \quad (2.8)$$

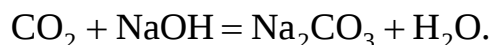
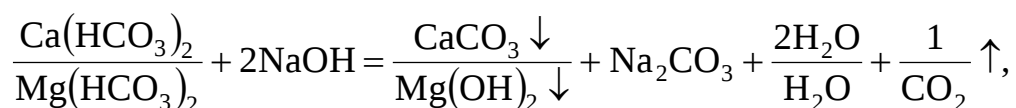
где $Ж_o$ – общая жесткость воды, мг-экв/л.

Более глубокое умягчение воды может быть достигнуто ее подогревом, добавлением избытка реагента-осадителя и созданием контакта умягчаемой воды с ранее образовавшимися осадками. При подогреве воды уменьшается растворимость $CaCO_3$ и $Mg(OH)_2$ и более полно протекают реакции умягчения.

Контроль процесса умягчения воды следует осуществлять коррекцией pH умягченной воды. Когда это невозможно, его контролируют по значению гидратной щелочности, которую при декарбонизации поддерживают в пределах 0,1...0,2 мг-экв/л, а при известково-содовом умягчении – 0,3...0,5 мг-экв/л.

При содово-натриевом методе умягчения воды ее обрабатывают содой и гидроксидом натрия:

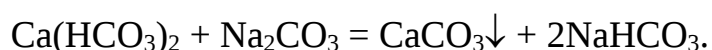




Ввиду того, что сода образуется при реакции гидроксида натрия с гидрокарбонатом, необходимая для добавки в воду доза ее значительно уменьшается. При высокой концентрации гидрокарбонатов в воде и низкой некарбонатной жесткости избыток соды может оставаться в умягченной воде. Поэтому этот метод применяют лишь с учетом соотношения между карбонатной и некарбонатной жесткостью.

Содово-натриевый метод обычно применяют для умягчения воды, карбонатная жесткость которой немного больше некарбонатной. Если карбонатная жесткость приблизительно равна некарбонатной, соду можно совсем не добавлять, поскольку необходимое ее количество для умягчения такой воды образуется в результате взаимодействия гидрокарбонатов с едким натром. Доза кальцинированной соды увеличивается по мере повышения некарбонатной жесткости воды.

Содорегенеративный метод, основанный на возобновлении соды в процессе умягчения, применяют при подготовке воды, для питания паровых котлов низкого давления



Гидрокарбонат натрия, попадая в котел с умягченной водой, разлагается под влиянием высокой температуры



Образующаяся при этом сода вместе с избыточной, введенной вначале в водоумягчитель, тут же в котле гидролизует с образованием гидроксида натрия и оксида углерода (IV), который с продувочной водой поступает в водоумягчитель, где используется для удаления из умягчаемой воды гидрокарбонатов кальция и магния. Недостаток этого метода состоит в том, что

образование значительного количества CO_2 в процессе умягчения вызывает коррозию металла и повышение сухого остатка в котловой воде.

В технологии реагентного умягчения воды используют аппаратуру для приготовления и дозирования реагентов, смесители, тонкослойные отстойники или осветлители, фильтры и установки для стабилизационной обработки воды. Схема напорной водоумягчительной установки представлена на рис. 2.1. В этой установке отсутствует камера хлопьеобразования, поскольку хлопья осадка карбоната кальция формируются в контактной массе. При необходимости воду перед реакторами осветляют. Оптимальным сооружением для умягчения воды известковым или известково-содовым методами является вихревой реактор (спирактор напорный или открытый) (рис. 2.2). Реактор представляет собой железобетонный или стальной корпус, суженный книзу (угол конусности $15...20^\circ$) и наполненный примерно до половины высоты контактной массой. Скорость движения воды в нижней узкой части вихревого реактора равна $0,8...1$ м/с; скорость восходящего потока в верхней части на уровне водоотводящих устройств – $4...6$ мм/с. В качестве контактной массы применяют песок или мраморную крошку с размером зерен $0,2...0,3$ мм из расчета 10 кг на 1 м^3 объема реактора. При винтовом восходящем потоке воды контактная масса взвешивается, песчинки сталкиваются друг с другом и на их поверхности интенсивно кристаллизуется CaCO_3 ; постепенно песчинки превращаются в шарики правильной формы. Гидравлическое сопротивление контактной массы составляет $0,3$ м на 1 м высоты. Когда диаметр шариков увеличивается до $1,5...2$ мм, крупную наиболее тяжелую контактную массу выпускают из нижней части реактора и догружают свежую. Вихревые реакторы не задерживают осадка гидроксида магния, поэтому их следует применять совместно с установленными за ними фильтрами только в тех случаях, когда количество образующегося осадка гидроксида магния соответствует грязеемкости фильтров.

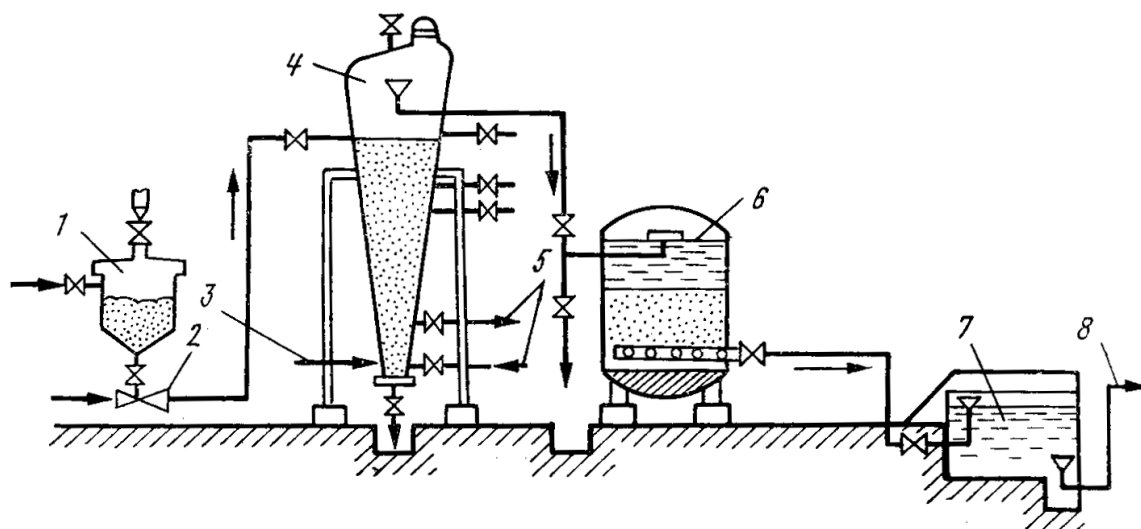


Рис. 2.1. Водоумягчительная установка с вихревым реактором:

1 – бункер с контактной массой; 2 – эжектор; 3, 8 – подача исходной и отвод умягченной воды; 4 – вихревой реактор; 5 – ввод реагентов; 6 – скорый осветлительный фильтр; 9 – сброс контактной массы; 7 – резервуар умягченной воды

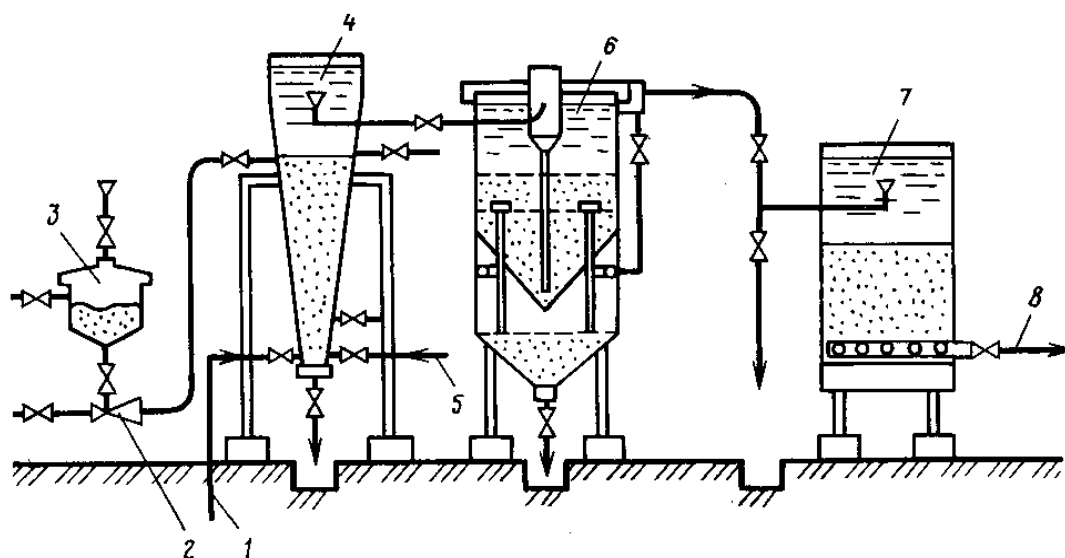


Рис. 2.2. Установка известково-содового умягчения воды:

1, 8 – подача исходной и отвод умягченной воды; 2 – эжектор; 3 – бункер с контактной массой; 5 – ввод реагентов; 6 – осветлитель со слоем взвешенного осадка; 7 – осветительный скорый фильтр; 4 – вихревой реактор

При расходах умягчаемой воды до $1000 \text{ м}^3/\text{сут}$ может быть применена водоочистная установка типа «Струя». Обработываемая вода с добавленными к ней реагентами поступает в тонкослойный отстойник, затем на фильтр.

Термический метод умягчения воды целесообразно применять при использовании карбонатных вод, идущих на питание котлов низкого давления, а также в сочетании с реагентными методами умягчения воды. Он основан на смещении уголекислотного равновесия при ее нагревании в сторону образования карбоната кальция, что описывается реакцией

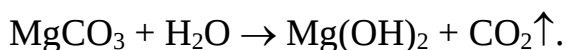


Равновесие смещается за счет понижения растворимости оксида углерода (IV), вызываемого повышением температуры и давления. Кипячением можно полностью удалить оксид углерода (IV) и тем самым значительно снизить карбонатную кальциевую жесткость. Однако, полностью устранить указанную жесткость не удастся, поскольку карбонат кальция хотя и незначительно (13 мг/л при температуре 18°C), но все же растворим в воде.

При наличии в воде гидрокарбоната магния процесс его осаждения происходит следующим образом: вначале образуется сравнительно хорошо растворимый (110 мг/л при температуре 18°C) карбонат магния



который при продолжительном кипячении гидролизует, в результате чего выпадает осадок малорастворимого (8,4 мг/л) гидроксида магния



Следовательно, при кипячении воды жесткость, обуславливаемая гидрокарбонатами кальция и магния, снижается. При кипячении воды снижается также жесткость, определяемая сульфатом кальция, растворимость которого падает до 0,65 г/л.

Термохимическое умягчение применяют исключительно при подготовке воды для паровых котлов, так как в этом случае наиболее рационально используется теплота, затраченная на подогрев воды. Этим методом умягчение воды производят обычно при температуре воды выше 100°C. Более интенсивному умягчению воды при ее подогреве способствует образование тяжелых и крупных хлопьев осадка, быстрее его осаждение вследствие

снижения вязкости воды при нагревании, сокращается также расход извести, так как свободный оксид углерода (IV) удаляется при подогреве до введения реагентов. Термохимический метод применяют с добавлением коагулянта и без него, поскольку большая плотность осадка исключает необходимость в его, утяжелении при осаждении. Помимо коагулянта используют известь и соду с добавкой фосфатов и реже гидроксид натрия и соду. Применение гидроксида натрия вместо извести несколько упрощает технологию приготовления и дозирования реагента, однако экономически такая замена не оправдана в связи с его высокой стоимостью.

2.1.3. Теоретические основы процесса ионного обмена

Ионным обменом называется фильтрование воды через гранулированные иониты (катионы и анионы), представляющие собой полимерные нерастворимые в воде кислоты и основания, способные вступать в реакции ионного обмена с растворенными в воде солями, сорбируя из воды катионы и анионы и отдавая в раствор эквивалентное количество ионов, которые находятся в матрице ионита.

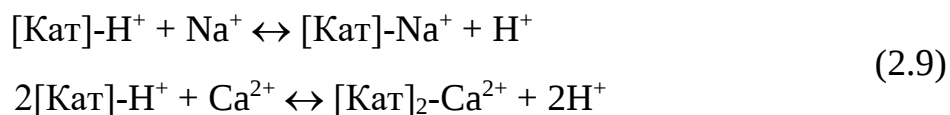
Иониты представляют собой твердые нерастворимые в воде материалы (обычно, полимерные матрицы), являющиеся солями, кислотами или основаниями, и имеющие в своем составе функциональные ионогенные группы, способные к диссоциации в растворах и обмену ионами с электролитами.

В функциональных группах имеются две разновидности ионов: одни ионы жестко закреплены на полимерной матрице (каркасе) ионита, другие – ионы противоположного заряда (противоионы) способные переходить в раствор в обмен на эквивалентное количество других ионов того же знака из раствора.

По свойствам ионогенных групп иониты делятся на катиониты и аниониты.

Катиониты – нерастворимые в воде материалы, представляющие собой соли или кислоты с нерастворимым твердым анионом (катионообменными группами), обменивающиеся в водных растворах катионами.

Реакции ионного обмена на катионитах описываются следующими уравнениями:



Символом [Кат] обозначена нерастворимая матрица катионита, играющая роль аниона кислоты. Условно считают анион катионита одновалентным.

По природе матрицы ионитов подразделяются на неорганические и органические. Органические иониты в свою очередь подразделяются на природные и синтетические. Неорганические иониты в основном являются катионитами. Они могут быть природными и синтетическими.

Ряд природных материалов обладает ионообменными свойствами. Природные неорганические катиониты имеют относительно малую обменную способность и химическую стойкость в растворах кислот и щелочей. Наибольшую сорбционную способность имеют алюмосиликаты: глины и цеолиты (алюмосиликаты натрия, кальция, магния и др.).

Для повышения обменной способности природных материалов они часто подвергаются дополнительной обработке кислотой, паром, обжигу. Благодаря своей структуре цеолиты и глины обладают свойствами селективности, т.е. селективно, «выборочно» обменивают различные ионы. Полная обменная способность неорганических ионитов существенно ниже, чем у синтетических. Однако их доступность и низкая стоимость дает возможность применять их однократно на водоподготовительных станциях для очистки от радионуклидов и коррекции солевого состава.

Органические иониты – практически все синтетические. Они имеют высокую химическую стойкость, практически не растворимы в воде. По обменной емкости, скорости ионного обмена, химической стойкости и широте

применения органические синтетические иониты значительно превосходят неорганические.

Характеристики ионитов

В настоящее время для технологий водоподготовки в нашей стране и за рубежом выпускаются и используются десятки марок ионитов.

Органические иониты различаются:

- по природе ионогенных групп (аниониты и катиониты);
- по силе ионизации ионогенных групп (сильно диссоциирующие и слабодиссоциирующие);
- по материалу матрицы иониты разделяют на полимеризационные (полистирольные, полиакриловые, поливинилпиридиновые) и поликонденсационные (фенол-формальдегидные, полиэтиленполиаминные);
- по типу матрицы иониты разделяются на гелевые, макропористые, волоконные.

Наиболее дешевым органическим синтетическим катионитом является сульфированный гель или сульфоуголь – продукт обработки дробленых частиц угля концентрированной серной кислотой. Сульфуголь представляет собой полифункциональный катионит, в его составе содержатся способные к обмену катионов сульфогруппы – SO_3H^+ , карбоксильные группы – COOH^+ и фенольные гидроксильные группы – OH^+ . Поскольку большая часть обменной способности сульфоугля обуславливается обменом на сильнодиссоциированных сульфогруппах, сульфуголь относится к сильнокислотным катионитам. По сравнению с современными синтетическими катионитами сульфуголь обладает низкой обменной емкостью и требует больших расходов регенерационных растворов и отмывочной воды.

Катиониты на основе искусственных смол могут изготавливаться путем полимеризации или поликонденсации мономерных соединений, содержащих активные ионогенные группы, или введением активных, способных к ионному обмену групп в готовые полимеры.

Продуктом конденсации фенолсульфокислот с формальдегидом является выпускаемый нашей промышленностью катионит КУ-1. Продуктами сульфирования готовых сополимеров стирола с дивинилбензолом являются отечественный катионит КУ-2 и катионит Amberlite IR-120 (Компания «Rohm and Haas», США).

Важнейшей характеристикой ионита является его полная обменная способность (ПОЕ), которая соответствует количеству способных к обмену активных функциональных групп ионита в единице его веса или объема.

Полную обменную способность ионита выражают в г-экв поглощаемого ионитом иона на 1 т воздушно-сухого ионита, либо в г-экв поглощенного иона на 1 м³ разбухшего в воде ионита. Она является постоянной величиной, которую указывают в паспорте ионита, и не зависит от концентрации или природы обмениваемого иона. Для определения полной обменной способности производят фильтрование раствора поглощаемого иона до тех пор, пока его концентрация в фильтрате не станет равной его концентрации в исходном растворе.

Таблица 2.2

Технологические характеристики катионитов

Катионит, марка	Тип ионогенных групп	Степень диссоциации	Рабочий диапазон pH	Размер зерен в мм	Полная обменная способность, г-экв
Сульфоуголь	- SO ₃ H ⁺	Сильнокислотный	1 – 14	0,4 – 1,8	570
КУ-1				0,3 – 2	650
КУ-2-8				0,3 – 1,2	1700
КБ-2, КБ-4-10П	- COO ⁻	Слабокислотный	6 – 14	0,3 – 1	2800

Amberlite IR-120H	- SO ₃ H ⁻	Сильно-кислотный	1 – 14	0,3 – 1	2000
Amberlite IRC-60	- COO ⁻	Слабо-кислотный	6 – 14	0,3 – 1	2800
Dowex MAC-3	- COO ⁻	Слабо-кислотный	6 – 14	0,35 – 1,18	1800
Amberlite Amberjet 1200	- SO ₃ H ⁻	Сильно-кислотный	1 – 14	моносферн. 0,5±0,05	2000
Dowex UPCORE monoc-60	- SO ₃ H ⁻	Сильно-кислотный	1 – 14	моносферн. 0,6±0,05	1800-2000
Dowex marathon C,C-10	- SO ₃ H ⁻	Сильно-кислотный	1 – 14	моносферн. 0,6±0,05	2000
Purolite Purofine SC,C 650	- SO ₃ H ⁻	Сильно-кислотный	1 – 14	моносферн. 0,35±0,05	1800

Количество активных групп катионита или анионита, участвующих в ионном обмене, зависит от условий проведения реакций – температуры и величины pH, поэтому определение полной обменной способности ионита для получения сопоставимых данных проводят в определенных стандартных условиях. Полная обменная способность характеризует потенциальную способность данного ионита к ионному обмену.

Однако в практических условиях работы установок ионного обмена при многократном проведении регенераций обменная емкость используется не полностью, а лишь частично. Поэтому количество ионов, которое может быть поглощено ионитом до полного его насыщения в процессе эксплуатации (с учетом неполноту его использования) называют динамической обменной емкостью (ДОЕ). При работе установок водоподготовки фильтроцикл проводят до тех пор, пока концентрация удаляемого иона в фильтрате не достигнет определенной допустимой величины (называемой проскоком), как правило, значительно меньшей его концентрации в исходной воде. Таким образом, процесс ионного обмена прекращают задолго до полного насыщения ионита. В каждом цикле очистки используется лишь часть полной обменной способности ионита – его рабочая обменная способность (РОЕ), или полная динамическая обменная способность.

К числу показателей, характеризующих свойства ионитов, относятся также селективность, гранулометрический состав, коэффициент неоднородности, гидравлические характеристики, механическая прочность, химическая и осмотическая стабильность.

Селективностью называют способность избирательно сорбировать ионы из растворов сложного состава. Селективность определяет сродство различных ионов к иониту и зависит от типа ионогенных групп и степени их диссоциации.

Синтетические иониты полимеризационного типа производятся в виде шарообразных частиц с размерами 0,3-2,0 мм. Средний размер полимеризационных ионитов составляет 0,5-0,7 мм. Коэффициент неоднородности (соотношение количеств крупных и мелких зерен) для полимеризационных ионитов составляет не более 1,9. Благодаря этому обеспечиваются хорошие гидравлические характеристики ионитов – сопротивление слою и расширение при взрыхлении. За рубежом по специальным технологиям выпускают иониты моносферного типа Amberjet, Puroline UPCORE (табл. 2.2), имеющие частицы с очень малым разбросом

размеров. Такие иониты имеют более высокую обменную емкость, осмотическую и механическую стабильность. Слои моносферных ионитов имеют меньшее гидравлическое сопротивление, смешанные слои таких ионитов значительно лучше разделяются. Такие иониты используются в новых технологиях противоточной регенерации.

Механическая прочность показывает способность ионита противостоять механическим воздействиям. Иониты проверяются на истираемость в специальных мельницах или по весу груза, разрушающего определенное количество частиц.

Осмотическая стабильность определяется разрушением частиц ионитов при изменении характеристик среды, в которой они находятся. В зависимости от ионной формы ионита, значения pH и солесодержания среды, объем зерна ионита меняется. Вследствие осмотического эффекта объем зерна в концентрированных растворах меньше, чем в разбавленных. Наибольшее изменение объема происходит у слабокислотных катионитов.

При изменении солесодержания или pH раствора, окружающего зерно ионита, внешний слой зерна сжимается или расширяется быстрее, чем ядро. Вследствие возникновения напряжений происходит раскалывание зерна («осмотический ток»). Каждый ионит способен выдерживать определенное число циклов изменений характеристик среды. Осмотическая стабильность определяется как количество целых зерен, отнесенное к общему первоначальному их числу после многократной (150 раз) обработки навески ионита попеременно в растворе кислоты и щелочи с промежуточной отмывкой обессоленной водой. Наиболее осмотически стабильны сильнокислотные катиониты макропористой структуры, а наименее – слабокислотные катиониты.

Химическая стабильность ионитов определяется стойкостью к растворам кислот, щелочей и окислителей. Среди анионитов преобладают слабоосновные иониты, устойчивые к действию кислот, щелочей и окислителей.

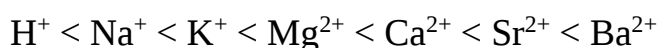
В зависимости от силы ионогенных групп (степени их диссоциации) искусственные катиониты разделяют сильно-, средне- и слабокислотные, которые могут работать в разных условиях. Основные характеристики катионитов показаны в табл. 2.2.

В практике умягчения и обессоливания воды применяются сильнокислотные катиониты, содержащие активные сульфогруппы – SO_3H (катиониты КУ-2-8, сульфоуголь, Амберлайт IR-120, Дауэкс и др.). Реже применяются слабокислотные катиониты, содержащие активные карбоксильные группы COOH (катиониты КБ-4, КБ-4-10П, Амберлайт IRC-50, Дауэкс).

Сильнокислотные сульфокатиониты сорбируют все катиониты металлов из раствора, поэтому их называют универсальными – марка КУ. Сильнокислотные катиониты мало изменяют обменную способность с понижением значения pH среды ниже 7; их обменная способность остается достаточно высокой при величине $\text{pH} \geq 1,5$. Поэтому сильнокислотные катиониты наиболее эффективны при pH растворов от 2 до 14.

При фильтровании воды через слой зернистого катионита его активные группы вступают в реакцию с катионитами растворенных в воде солей. Селективность, т.е. сродство различных ионов с активными группами, определяется свойствами активных групп. Чем больше сродство, тем лучше сорбируются ионы, причем более сильно-сорбируемые вытесняют слабо-сорбируемые.

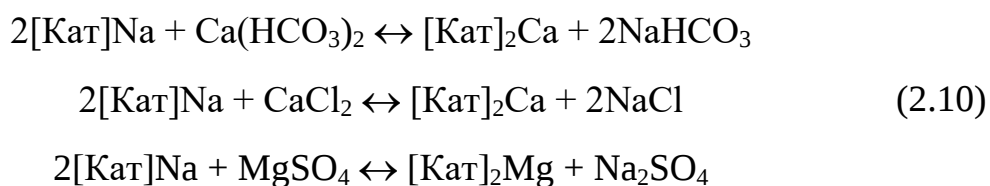
Распределение катионитов по энергии сродства (вхождения в катионит) или сорбируемости называют рядом селективности. Ряд селективности для стандартного катионита типа КУ-2-8 выглядит следующим образом:



Каждый последующий член ряда сорбируется сильнее и может вытеснять предыдущий. Для вытеснения из катионита сорбированных катионов (т.е. для их регенерации) в соответствии с рядом селективности используются катионы

левой части. Для регенерации используются концентрированные растворы кислот или солей натрия и калия, взятые с большим избытком по сравнению со стехиометрическим количеством.

Катиониты используются в Na-форме или H-форме, в которую они переводятся путем регенерации с помощью растворов поваренной соли или кислоты. При фильтровании воды через слой катионита в Na-форме будут происходить следующие реакции обмена катионов:



Символом [Кат] обозначена нерастворимая матрица полимера-катионита, условно считаемая одноосновным нерастворимым в воде кислотным остатком.

По мере фильтрования воды через слой катионита в фильтре все большая часть его активных групп будет замещаться кальцием и магнием из воды. Когда все активные группы будут замещены ионами кальция и магния, обменная способность катионита будет полностью исчерпана. В процессе Na-катионирования содержание ионов кальция и магния может быть снижено до величины 0,05-0,1 мг-экв/л, общая щелочность при этом не изменится, сухой остаток несколько возрастает.

Как и всякая химическая реакция, реакция ионного обмена подчиняется закону действия масс. Поэтому регенерация (т.е. обратная реакция замещения ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} на ионы H^+ или Na^+) может быть достигнута увеличением концентрации продуктов реакции, например, концентрация раствора поваренной соли:



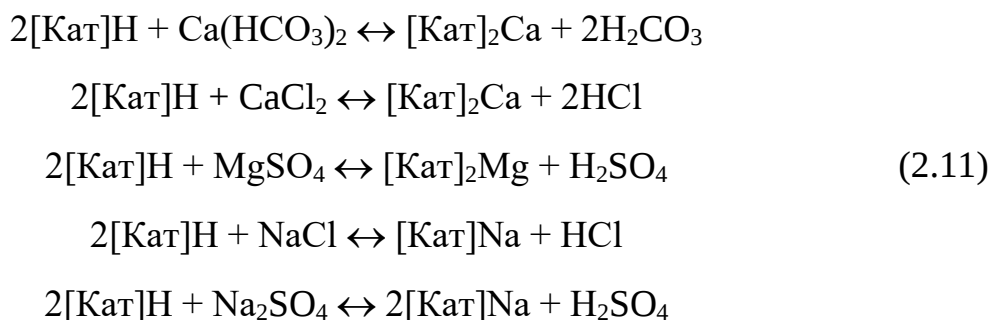
Регенерация проводится до тех пор, пока большая часть активных групп катионита не будет замещена натрием.

При регенерации катионита раствором кислоты активные (способные к обмену) катионы активных групп катионита замещаются H-ионом кислоты:



и катионит переводится в Н-форму.

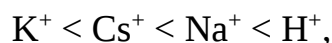
Если фильтровать воду через катионит в Н-форме, то все катионы растворенных в воде солей будут поглощаться катионитом, а в воду будет переходить эквивалентное количество Н-ионов. Растворенные в воде соли будут превращаться в соответствующие кислоты по реакциям:



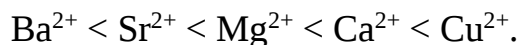
Кислотность воды, прошедшей через Н-катионитовый фильтр, который загружен сильнокислотным катионитом, будет равна сумме концентраций солей сильных кислот.

Регенерация Н-катионитовых фильтров кислотой в количестве, недостаточном для полного удаления из катионита катионов жесткости, называется «голодной» регенерацией. При пропускании воды через фильтр, в котором была проведена «голодная» регенерация, из воды удаляются только соли карбонатной (т.е. связанной с бикарбонатами) жесткости, щелочность воды снижается до величины 0,4-0,5 мг-экв/л.

Слабокислотные карбоксильные катиониты обладают высокой селективностью к ионам водорода и многовалентным ионам. Ряд селективности слабокислотных катионитов зависит от величины рН. Для карбоксильного пористого катионита типа КБ-4-10П и одновалентных ионов ряд селективности имеет вид:



а для двухвалентных ионов:



Ион водорода легко вытесняет все другие катионы из катионита, поэтому слабокислотные катиониты могут работать только в щелочной среде при pH раствора от 7 до 14. При снижении величины pH ниже значения 6 диссоциация активных групп подавляется, и обменная способность катионита резко снижается. Например, обменная способность карбоксильного катионита КБ-4 снижается с величины 4,3 мг-экв/г при pH = 7 до 1,08 мг-экв/г при pH = 5 и 0,15 мг-экв/г при pH=3.

Регенерация может проводиться при движении регенерирующего раствора через слой ионита в том же направлении, что и очищаемый раствор, и в этом случае носит название прямоточной регенерации. Регенерация, проводимая при движении регенерирующего раствора в направлении, противоположном движению очищаемой воды, называется противоточной регенерацией.

Прямоточная (или, как ее еще называют, параллельноточная) регенерация распространена наиболее широко благодаря простоте процесса. Противоточная регенерация обладает рядом преимуществ (более глубокая регенерация загрузки при меньшем расходе реагента), однако требует более сложного аппаратного оформления.

2.1.4. Основные закономерности процесса ионного обмена

Для того чтобы ионы солей, находящиеся в очищаемой воде, могли вступить в реакцию с обменными ионами, находящимися в ионите, должны произойти и завершиться следующие процессы:

- а) диффузия солей через пленку воды на поверхности зерен ионита;
- б) диффузия солей внутрь зерна ионита;
- в) обмен продиффундировавших ионов на обменные ионы в ионите;
- г) диффузия продуктов обмена из зерен ионита к его поверхности и затем через пленку воды в поток очищаемой воды.

Скорости этих процессов и время, необходимое для их завершения, зависят от концентрации ионов в воде, коэффициентов диффузии этих ионов в

пленке воды на поверхности зерен ионита и в самих зернах, скорости диффузии продуктов обмена из зерна ионита. Чем больше концентрация удаляемого (сорбируемого ионитом) иона, тем больше потребуется времени для завершения процесса удаления ионов из движущейся через слой ионита воды, тем большую толщину слоя ионита успеет пройти в фильтре очищаемая вода. На рис. 2.3 показано изменение жесткости умягченной воды при прохождении ее через Na-катионитовый фильтр в зависимости от скорости и расстояния от верхнего уровня слоя катионита. Толщина слоя катионита, при прохождении через которую жесткость воды (или содержание любого извлекаемого иона) снижается от исходного значения до заданного, называется толщиной защитного слоя ионита.

По мере работы фильтра верхние слои в нем будут насыщаться ионами растворенных в воде солей до наступления равновесного состояния, а защитный слой будет перемещаться вниз в более глубокие слои ионита. Когда низ защитного слоя переместится до нижней границы слоя ионита, начнется пропуск удаляемого иона в фильтрат (для рассматриваемого случая – увеличение жесткости фильтрата).

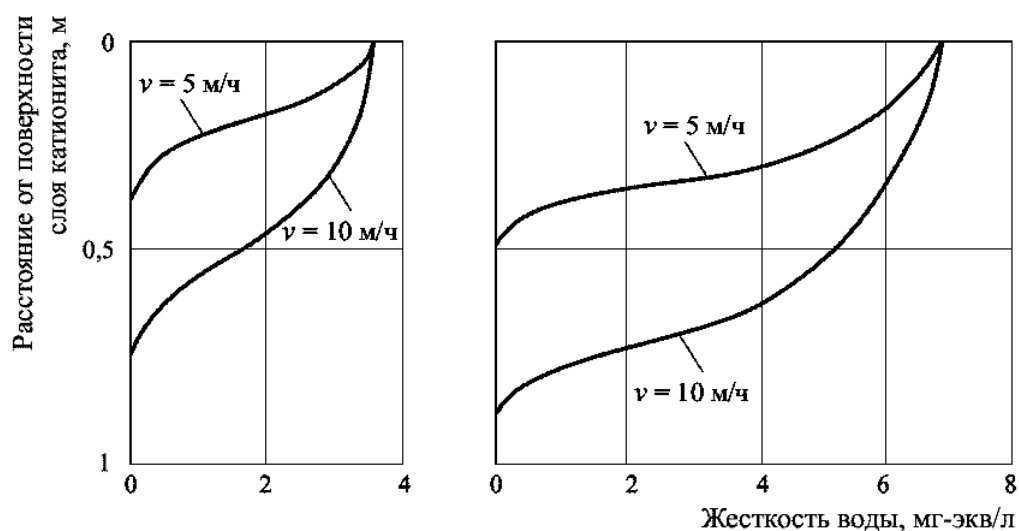


Рис. 2.3. Изменение жесткости умягченной воды при фильтровании ее через Na-катионитовый фильтр.

На рис. 2.4, а показан график зависимости степени использования равновесной обменной емкости катионита в Na-катионитовом фильтре в момент проскока солей жесткости в фильтрат, т.е. в момент, когда начинается постепенное возрастание жесткости фильтрата. Как видно из графика, верхние слои катионита в фильтре в момент проскока солей жесткости в фильтрат насыщены катионами растворенных в воде солей почти до равновесного состояния. Равновесная обменная способность катионита использована почти полностью. В нижнем защитном слое катионита его равновесная способность использована лишь частично, всего на 50-60% (рис. 2.4, б). Процесс очистки воды прекращают при определенном значении проскока жесткости задолго до полного насыщения ионита. Количество поглощенных при этом ионов, соответствующее площади прямоугольника *A*, отнесенное к объему ионита, составляет динамическую обменную емкость (ДОЕ).

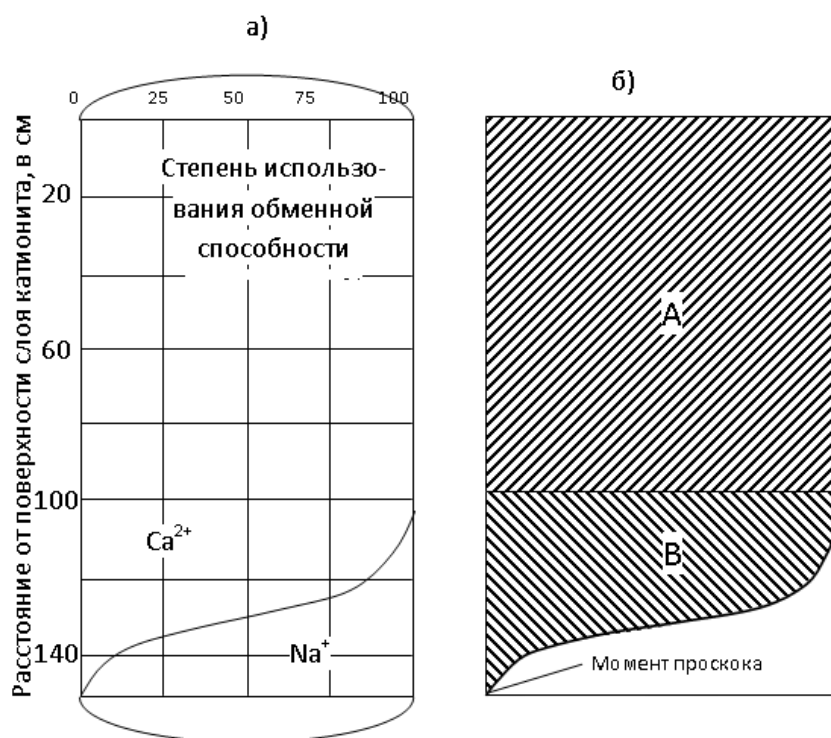


Рис. 2.4. Степень использования обменной способности катионита в фильтре в момент проскока катионов жесткости в фильтрат (а) и определение рабочей обменной емкости (б):

A – зона полного использования равновесной обменной способности; *B* – защитный слой.

Количество поглощенных ионов, соответствующее полному насыщению и началу проскока, соответствующее сумме ДОЕ и площади фигуры B (количеству поглощенных ионов в защитном слое) называют полной динамической емкостью (ПДОЕ).

Так как толщина защитного слоя возрастает с увеличением скорости фильтрования и жесткости умягченной воды, то степень использования емкости поглощения ионита уменьшается с уменьшением общей толщины слоя катионита и увеличением жесткости умягченной воды, а также величины скорости ее фильтрования. При заданной высоте слоя ионита принимаемая скорость фильтрования должна быть тем меньше, чем выше содержание удаляемых ионов в исходной воде.

Изменение концентраций ионов Na^+ и Ca^{2+} в процессе работы Na-катионитового фильтра (выходные кривые сорбции катионов на катионите в Na-форме) показаны на рис. 2.5. По оси абсцисс откладывается число колоночных объемов V_k , которое представляет собой отношение объема пропущенного раствора к объему ионита, а по оси ординат – отношение значений концентраций ионов в выходящем растворе к значениям их исходных концентраций C/C_0 . Раствор после прохождения через катионит остается практически нейтральным.

Функциональные группы катионита определяют степень его диссоциации (кислотность) и сродство к нему различных ионов – селективность (энергию вхождения ионов в катионит). Формирование в слое Na-катионита фронтов сорбции катионов показано на рис. 2.6.

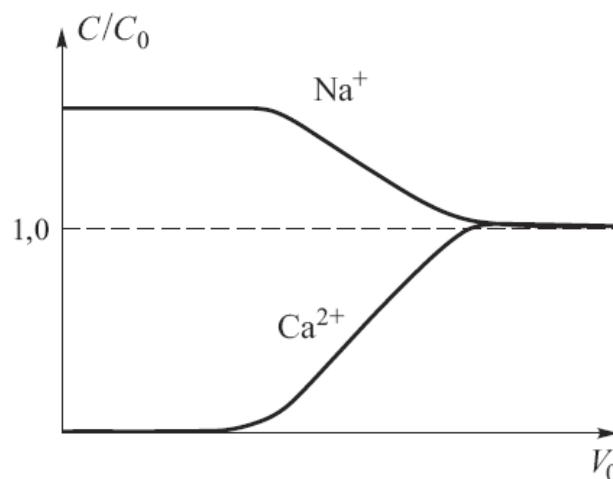


Рис. 2.5. Выходные кривые сорбции катионов Ca^{2+} и Na^+ на катионите в Na^+ -форме: C/C_0 – отношение текущей концентрации иона к исходной; V_0 – объем профильтрованной воды.

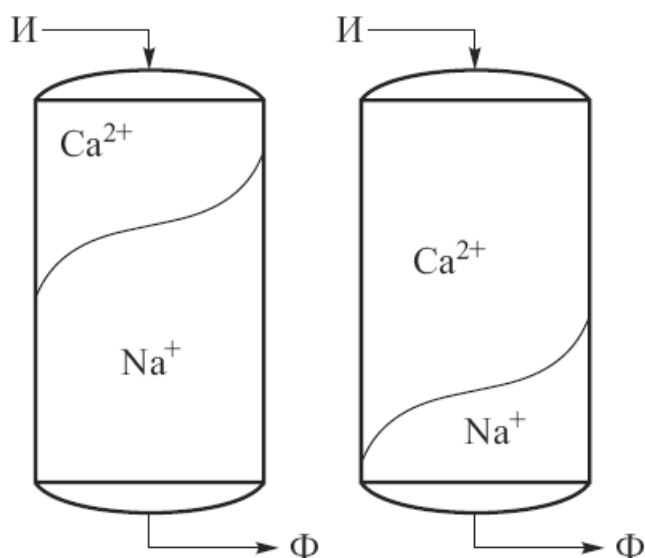


Рис. 2.6. Формирование фронтов сорбции катионов в Na -катионитовом фильтре.

При фильтровании воды через катионит в H -форме воды, содержащей ионы Ca^{2+} , Mg^{2+} и Na^+ , H^+ - ионы в верхних слоях катионита замещаются этими катионами.

Из раствора извлекаются катионы, стоящие в ряду селективности правее ионов H^+ . Так как кальций и магний имеют большее сродство к катиониту, чем натрий (селективность по этим ионам выше), то по мере работы фильтра кальций и магний будут замещать (вытеснять) натрий, ранее поглощенный

верхними слоями катионита. Постепенно фронт поглощения натрия, кальция и магния перемещается вниз. Таким образом, через некоторое время после начала работы Н-катионитового фильтра, в слое катионита образуется пять зон: верхняя зона, катионит в которой равновесно насыщен кальцием и магнием; под верхней зоной находится защитный слой по кальцию и магнию, в котором происходит вытеснение кальцием и магнием натрия; ниже располагается слой, равновесно насыщенный натрием; ниже находится зона замещения Н-иона ионом натрия (защитный слой по натрию), а еще ниже – зона Н-катионита, еще не участвовавшего в процессе ионного обмена. Верхний слой равновесно насыщенного кальцием и магнием катионита будет все время увеличиваться, нижняя граница (фронт сорбции) будет перемещаться вниз, одновременно вниз перемещаются и другие фронты сорбции.

Через некоторое время защитный по натрию слой катионита сместится до нижней границы катионита в фильтре и начнется проскок натрия в фильтрат, при этом кислотность фильтрата Н-катионитового фильтра начнет снижаться (значение рН расти). Когда нижняя граница зоны равновесного насыщения натрием достигнет границы нижнего слоя катионита в фильтре, все Н-ионы из него окажутся вытесненными и кислотность фильтрата станет равной нулю (реакция воды будет нейтральной).

После этого в фильтрате появится щелочность, которая постепенно достигнет величины, равной щелочности исходной воды. Затем до нижней границы опустится фронт сорбции кальция и магния и начнется проскок в фильтрат солей жесткости. Выходные кривые сорбции катионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , а также изменения значений рН и щелочности показаны на рис. 2.7. Формирование в слое Н-катионитового фильтра фронтов сорбции катионов показано на рис. 2.8.

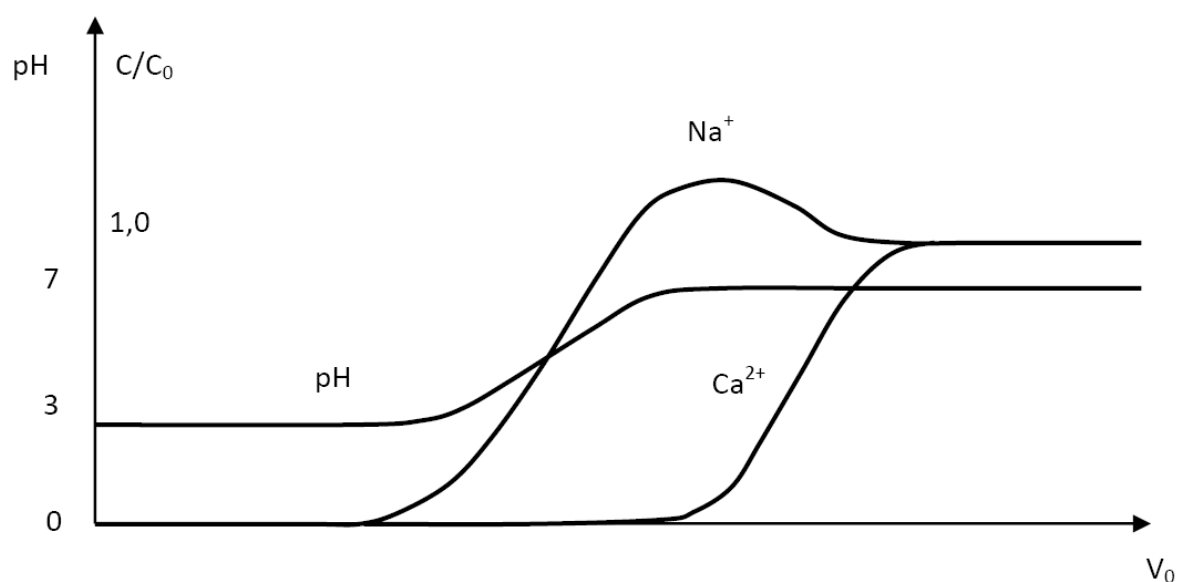


Рис. 2.7. Выходные кривые сорбции катионов на катионите в H^+ -форме.

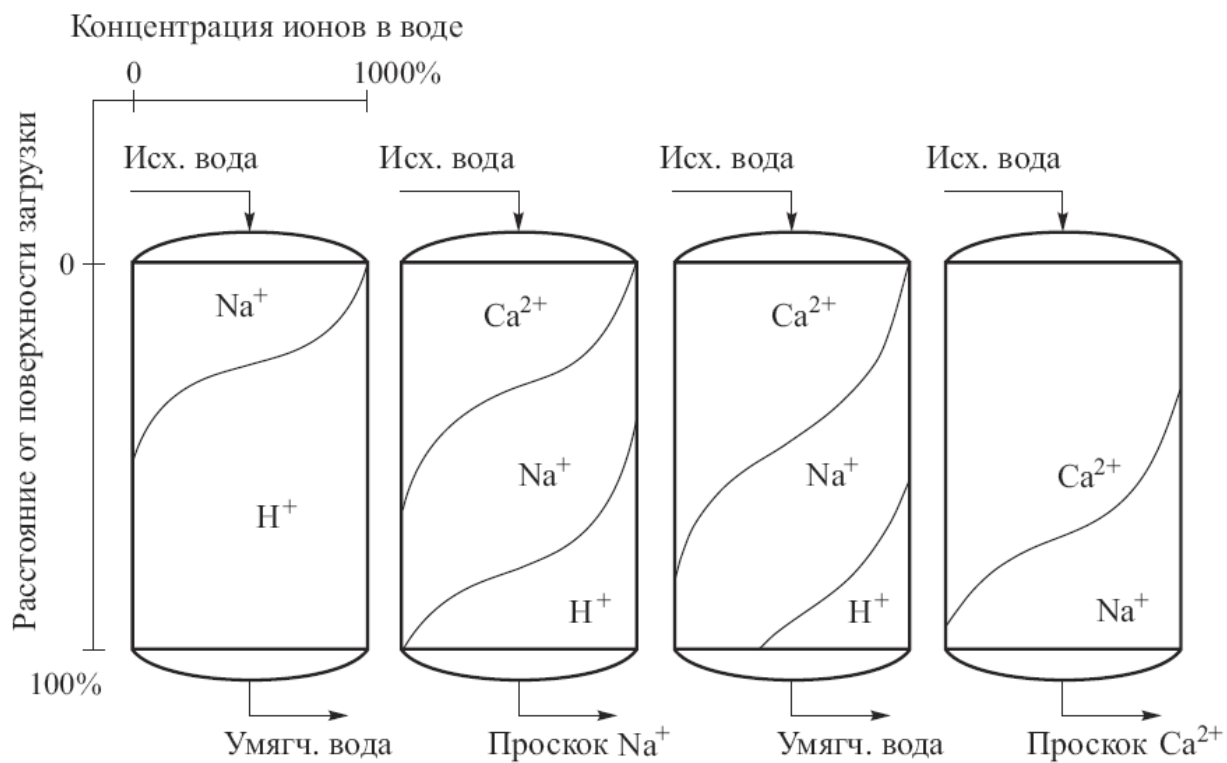


Рис. 2.8. Формирование в катионите в H^+ -форме фронтов сорбции катионов.

Глубина умягчения воды катионированием – это величина остаточной жесткости фильтрата катионитового фильтра. При обработке воды на анионитовых фильтрах важно знать величину остаточного содержания анионов сильных кислот (Cl^- , SO_4^{2-}) в фильтрате слабоосновных анионитов или

концентрацию кремнекислоты на выходе из фильтров с сильноосновным анионитом.

При толщине слоя ионита в фильтре, превышающей толщину защитного слоя при данной скорости фильтрования и концентрации удаляемого иона, верхние слои ионита работают в равновесных условиях (в условиях насыщения удаляемыми ионами).

2.1.5. Регенерация ионитовых фильтров

Целью регенерации ионообменных фильтров является восстановление их обменной способности путем вытеснения поглощенных ионитом ионов и замене их на ионы Na^+ , H^+ (при катионировании) и OH^- (при анионировании) для восстановления обменной способности.

Для регенерации фильтров регенерационный раствор пропускают через слой загрузки ионита в фильтре.

Регенерация может проводиться при движении регенерирующего раствора через слой ионита в том же направлении, что и очищаемый раствор, и в этом случае носит название прямоточной регенерации. Регенерация, проводимая при движении регенерирующего раствора в направлении, противоположном движению очищаемой воды, называется противоточной регенерацией.

Прямоточная (или, как ее еще называют, параллельноточная) регенерация распространена наиболее широко благодаря простоте процесса. Противоточная регенерация, как будет показано ниже, обладает рядом преимуществ, однако требует более сложного аппаратного оформления.

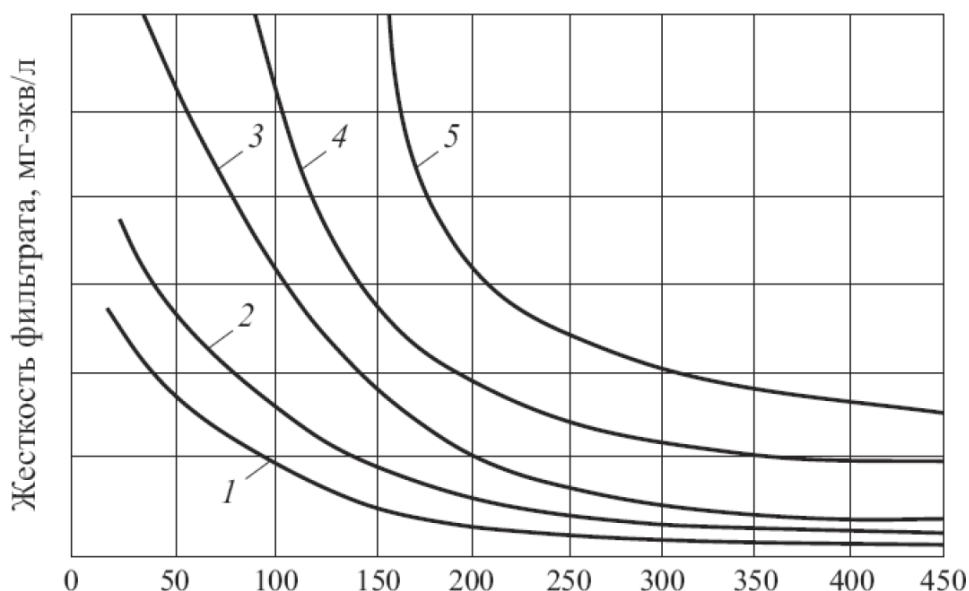


Рис. 2.9. Зависимости жесткости фильтрата Na-катионитовых фильтров от солевого содержания исходной воды и солевого содержания воды: 1 – 1 мг-экв/л; 2 – 2 мг-экв/л; 3 – 3 мг-экв/л; 4 – 4 мг-экв/л; 5 – 5 мг-экв/л.

Эффективность регенерации слабо- и сильно диссоциированных ионов существенно различается. Слабо диссоциированные ионы могут быть отрегенированы практически без избытка кислоты или щелочи. Сильно диссоциированные ионы требуют избытка регенерирующего реагента. Чем выше требуемая степень регенерации и рабочая обменная емкость ионита, тем больше должен быть избыток реагента (рис. 2.9). Распределение фронтов сорбции в слое катионита при регенерации показан на рис. 2.10.

При фильтровании регенерационного раствора через слой ионита в фильтрате возрастает концентрация вытесненных ионов и снижается концентрация регенерирующих ионов, что подавляет диссоциацию истощенного анионита и ослабляет процесс ионного обмена. Этот процесс носит название противоионного эффекта, тормозящего регенерацию.

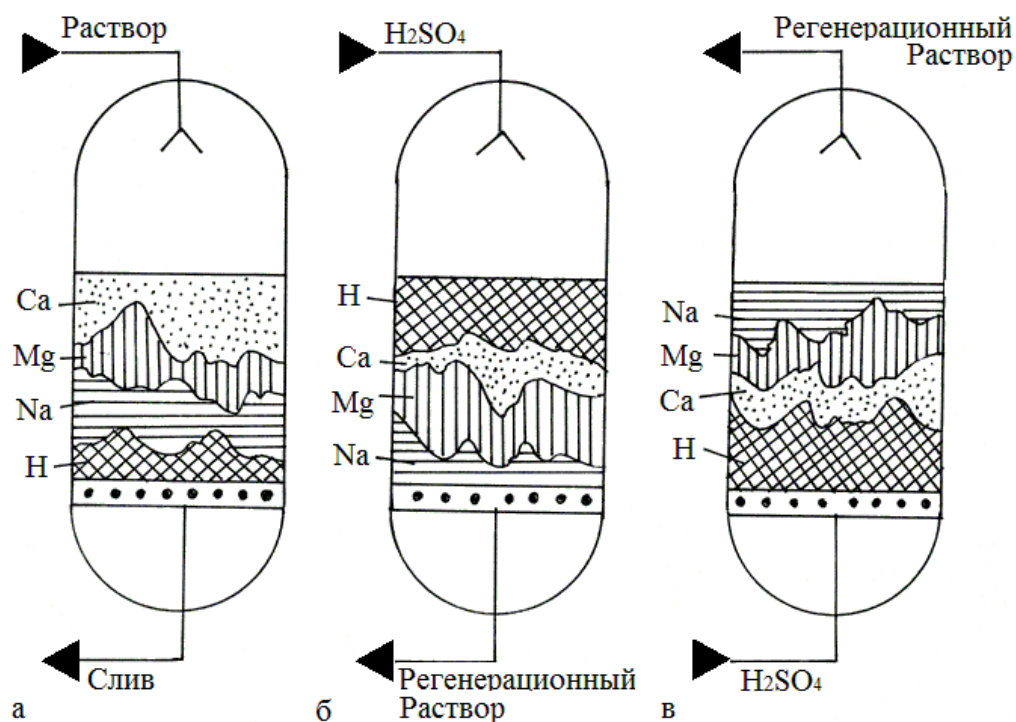


Рис. 2.10. Распределение ионов в слое катионита при сорбции (а), прямоточной (б) и противоточной (в) регенерации.

Полнота регенерации ионита характеризуется коэффициентом эффективности регенерации $\alpha_{\text{э}}$, равным отношению количества замещенных регенерирующим агентом активных групп ионита к его полной обменной способности. Например, для случая Na-катионирования и регенерации катионита раствором поваренной соли коэффициент эффективности регенерации определяется как:

$$\alpha_{\text{э}} = \frac{E_{\text{Na}}}{E_{\text{полн.}}}, \quad (2.12)$$

Реакция регенерации Na-катионитового фильтра идет в соответствии с реакцией (2.9) в обратном направлении:



Увеличение концентрации натрия в свежем регенерационном растворе обычно приводит к увеличению удельного расхода поваренной соли на регенерацию. Поэтому для повышения эффективности регенерации часто прибегают к увеличению концентрации поваренной соли в конце регенерации.

В этом случае регенерацию производят 1,5-2%-ным раствором NaCl и в конце ее подают на фильтр 7-8%-ный раствор соли. При необходимости глубокого умягчения воды используют двухступенчатые схемы Na-катионирования (см. далее), поэтому фильтры I ступени регенерируют 2-3%-ным раствором поваренной соли, а фильтры II ступени – 10%-ным раствором.

Повышение температуры регенерационного раствора до 35-40°C ускоряет диффузионные процессы в ионитах и позволяет повысить эффективность регенерации.

Иониты в фильтре перед проведением процесса регенерации должны взрыхляться для отмывки от задержанной ими взвеси и предотвращения от слеживания. Взрыхление ионита может производиться исходной водой, подаваемой на фильтр или отмывочными водами от предыдущей регенерации фильтра. Так как отмывочные воды содержат регенерирующее вещество, их применение для взрыхления сопровождается частичной регенерацией ионита, что позволяет повысить степень использования регенерационных реагентов. Взрыхление ведется в течение 15 минут с интенсивностью, обеспечивающей взрыхление всего слоя катионита в фильтре.

Объем бака для сбора отмывочных вод должен быть не менее 5 м³ на 1 м² площади катионитового фильтра, что позволяет собрать и использовать для взрыхления около 50% отмывочных вод. Для отмывки отрегенированных ионитов используется чистая вода после фильтра (умягченная или обессоленная).

Выбор количества поваренной соли для регенерации Na-катионитовых фильтров при одноступенчатом Na-катионировании производят по графикам и таблицам, задаваясь предварительно коэффициентом α , в зависимости от требуемой остаточной жесткости фильтрата.

При двухступенчатом Na-катионировании фильтры I ступени регенерируют 2-3%-ным раствором поваренной соли с удельным расходом 125-150 г NaCl на 1 г-экв рабочей обменной способности катионита, а фильтры II

ступени – 10%-ным раствором поваренной соли с удельным расходом 300-400 г NaCl. Большой расход соли применяют при умягчении вод с более высоким солесодержанием.

Регенерацию Н-катионитовых фильтров производят растворами серной или соляной кислоты. При применении для регенерации Н-катионитовых фильтров серной кислоты концентрация H_2SO_4 в регенерационном растворе не должна превышать 1,4%. При большей концентрации серной кислоты в объеме катионита возникает опасность выпадения кристаллов сульфата кальция (гипса) – загипсовывания загрузки. Это происходит вследствие того, что при вытеснении из катионита кальция концентрации ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} могут превысить значение произведения растворимости по CaSO_4 в соответствии с реакцией:

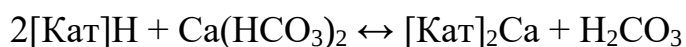
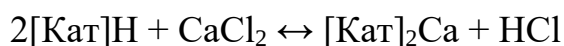


Во избежание выпадения гипса в слое катионита раствор серной кислоты пропускают быстро и без остановок, а фильтр после регенерации немедленно отмывают водой от продуктов регенерации. Процесс образования осадка сульфата кальция характеризуется наличием индукционного (инкубационного) периода – времени, необходимого для начала кристаллообразования (зародышеобразования) из пересыщенного раствора. Обычно продолжительность инкубационного периода для условий регенерации катионита составляет 10-15 минут, поэтому очень важно соблюдать требуемый режим подачи серной кислоты и отмывочной воды при проведении регенерации.

При использовании для регенерации растворов серной кислоты более 1,5% предотвращение выпадения гипса на зернах катионита достигается добавлением в регенерационные растворы ингибиторов кристаллообразования – гексаметафосфата натрия и др. с концентрациями 50-250 г/м³. Избежать загипсовывания загрузки можно полностью при использовании для регенерации соляной кислоты.

Небольшие значения концентрации кислоты в регенерационном растворе (на уровне 1,5%) не всегда обеспечивают достаточно полную регенерацию катионитов, особенно с высокой обменной способностью. При необходимости глубокой регенерации Н-катионитовых фильтров используют соляную кислоту или применяют двухступенчатую регенерацию – сначала фильтр регенерируют 1%-ным раствором H_2SO_4 или NaCl для удаления большей части ионов кальция и магния, а затем подают 5-10%-ный раствор H_2SO_4 , не образующий с удаляемым из катионита натрием нерастворимых соединений.

При регенерации Н-катионитовых фильтров кислотой в количестве, недостаточном для полного вытеснения из катионитов катионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , катионит в фильтре будет находиться в двух формах: в верхней части – в Н-форме, в нижней – в Са- и Mg-форме. При фильтровании через такой фильтр воды в верхней части фильтра все катионы растворенных солей будут обмениваться на ионы H^+ :



При этом угольная кислота будет распадаться с образованием H_2O и CO_2 и уходить из сферы реакции. В нижних слоях фильтра будет иметь место реакция обмена между Са-Mg-катионитом и кислотой:



В результате этого вся карбонатная жесткость (т.е. эквивалентная содержанию ионов HCO_3^-) будет удаляться из воды, а некарбонатные – оставаться в воде.

Технология регенерации Н-катионитовых фильтров кислотой в количестве, недостаточном для полного удаления из катионита катионов жесткости, называется «голодной» регенерацией. Фильтр, работающий в режиме «голодной» регенерации, удаляет из воды только соли карбонатной жесткости, снижая щелочность воды до значения 0,4-0,5 мг-экв/л, но не снижая некарбонатной жесткости воды.

При подаче регенерирующего раствора в фильтр снизу вверх нижние слои оказываются более глубоко отрегенированными. Поэтому очищаемая вода, контактируя с ионитом в нижнем слое, очищается более глубоко. Применение противоточной регенерации позволяет более эффективно использовать обменную емкость, снизить расходы реагентов и добиться более чем высокой эффективности.

При проведении прямоточной (параллельноточной) регенерации для достаточно полного вытеснения ионов из слоя ионита требуется большой (обычно 2-х-3-х кратный) избыток регенерирующего реагента. При этом расход реагента тем выше, выше солесодержание и жесткость исходной воды, и чем больше требуется глубина удаления катионов и анионов. Технология противоточной регенерации позволяет сократить расход реагентов на регенерацию и обеспечить более глубокое удаление из воды ионов солей. Технологию противоточной регенерации применяют также при обработке воды с высокой минерализацией.

Основные недостатки процесса прямоточной регенерации связаны со следующими «явлениями»:

1. В процессе работы ионообменного фильтра слои загрузки оказываются неравномерно «загрязнены» ионами солей. Фильтры отключаются по проскоку ионов. При взрыхлении ионитов происходит перемешивание различных слоев загрузки, и наиболее загрязненные зерна загрузки оказываются «размазанными» по слоям. После проведения регенерации плохо отрегенированные зерна ионита оказываются в нижней части слоя, ухудшая качество обессоленной воды. Для устранения этого требуются большие расходы регенерирующего раствора и отмывочной воды.

2. В процессе взрыхления происходит «стратификация» загрузки фильтра, при этом зерна малого размера и меньшей плотности оказываются в верхней части фильтра. Это ведет к увеличению гидравлического сопротивления фильтра, быстрому приросту перепада давлений в процессе

эксплуатации при загрязнении верхнего слоя и, следовательно, к снижению расхода.

Таким образом, причиной неэффективного проведения регенерации является перемешивание слоев фильтра. Для проведения эффективной регенерации необходимо избежать перемешивания, т.е. «зажать» слой. Поэтому после пропуска регенерационного раствора «снизу вверх» нижние слои фильтра оказываются «идеально» чистыми. Очищаемая вода на выходе из фильтра контактирует с наиболее регенерированными зернами ионита, что обеспечивает глубокую степень обессоливания. Схема распределения ионов в слое катионита при прямоточной и противоточной регенерации показана на рис. 2.10.

Для осуществления процесса противоточной регенерации необходимо иметь соответственно подготовленную для «зажатия слоя» конструкцию фильтра и специальные «монодисперсные» иониты («моносферы») с зернами одинакового размера и плотности.

2.1.6. Схемы установок ионообменного умягчения воды.

Технология применения катионитов (тип катионита, технология регенерации, типы применяемых реагентов) зависят от требований к качеству получаемой воды. Разные технологии позволяют снизить жесткость, щелочность до требуемого значения.

Na-катионирование позволяет удалить из воды ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} , замещая их на ионы Na^+ . Солеосодержание воды при этом практически не меняется, поскольку катионы Ca^{2+} , имеющие эквивалентный вес равный 20, заменяются на катионы Na^+ с эквивалентным весом равным 23. Поскольку при Na-катионировании анионный состав воды не меняется, раствор остается практически нейтральным. Величина щелочности воды и pH могут увеличиваться на 0,1-0,2 в зависимости от содержания солей жесткости. С помощью Na-катионирования на одной ступени при проведении прямоточной

регенерации не удастся получить значение жесткости ниже 0,05 мг-экв/л (обычно 0,1 мг-экв/л).

Технологическая схема применения Na-катионирования в одну ступень с использованием сильнокислотного катионита показана на рис. 2.11а и в табл. 2.3, п.1. Такие схемы широко применяются в различных видах промышленности (например, пищевой), а также в энергетике для подпитки теплосетей или подготовки воды для водогрейных котлов.

Для подготовки питательной воды паровых котлов требуется жесткость на уровне 0,01 мг-экв/л и ниже. Для получения такой воды используют двухступенчатое Na-катионирование, когда исходная вода последовательно проходит через 2 фильтра с катионитом. Поскольку на вторую ступень поступает значительно меньше солей жесткости, чем на первую (в 30-100 раз), скорость в ней может быть намного выше, чем в первой. Емкость катионита в фильтрах второй ступени составляет 500-700 мг-экв/л загрузки, и его регенерация проводится в 10-20 раз реже, чем катионита первой ступени. Однако для обеспечения глубокого умягчения и глубокой регенерации на 2-ой ступени расход соли требуется существенно выше, чем на первой. При двухступенчатом Na-катионировании фильтры первой ступени можно отключать на регенерацию не в начале проскока солей жесткости, а при их полном проскоке. Это позволяет более полно использовать обменную емкость катионита и экономить реагенты для регенерации. Схема двухступенчатого Na-катионирования с сильнокислотным катионитом и прямоточной регенерацией показана на рис. 2.11б (табл. 2.3, п. 2).

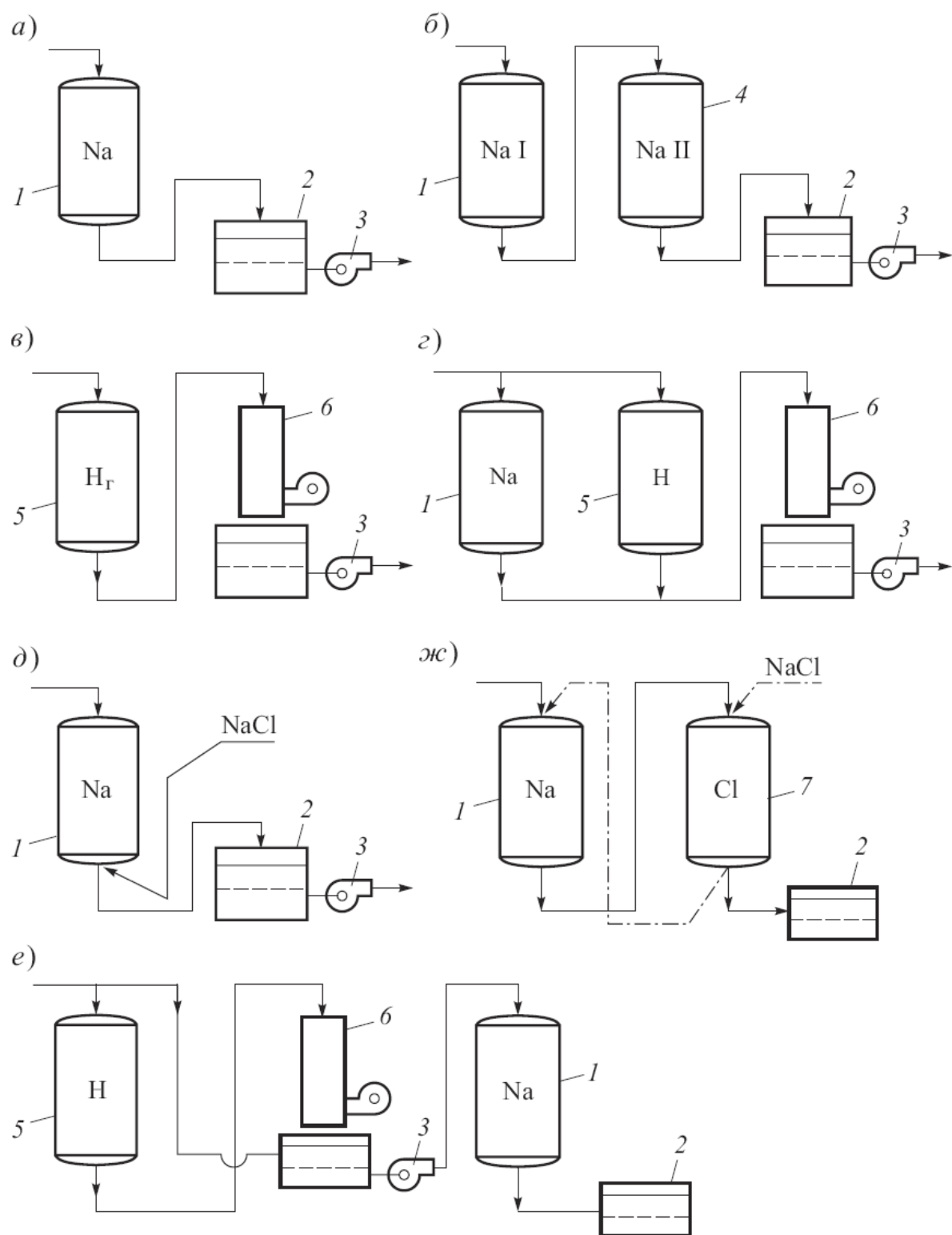


Рис. 2.11. Технологические схемы умягчения воды:

а) одноступенчатое натрий-катионирование; б) двухступенчатое натрий-катионирование; в) H-катионирование с «голодной» регенерацией; г) параллельное H-Na катионирование; д) Na-катионирование с противоточной регенерацией; е) последовательное H-Na катионирование; ж) последовательное Na-Cl ионирование; 1 – Na-катионитовый фильтр; 2 – бак умягченной воды; 3 –

насос; 4 – Na-катионитовый фильтр II ступени; 5 – H-катионитовый фильтр; 6 – дегазатор; 7 – Cl-анионитовый фильтр

Таблица 2.3

Основные схемы умягчения и глубокого умягчения воды и технологии регенерации

№ п/п	Название процесса, схема	Качество очищенной воды	Рабочая обменная емкость, мг-экв/л	Тип катионита, тип регенерации
1	Одноступенчатое Na- катионирование	$Ж \geq 0,05$ Щ – не изм.	500 – 700	Сильнокислотный , прямоточная
2	Двухступенчатое Na- катионирование	$Ж \geq 0,01$ Щ – не изм.	500 – 700	Сильнокислотный , прямоточная
3	Одноступенчатое Na- катионирование с противоточной регенерацией	$Ж \geq 0,01$ Щ – не изм.		Сильнокислотный , противоточная
4	Одноступенчатое H- катионирование с нейтрализацией	$Ж \geq 0,01$ Щ $\leq 0,1$	500	Сильнокислотный , прямоточная
5	H-катионирование с «голодной» регенерацией	$Ж \geq 0,01$ Щ $\leq 0,1$	500	Сильнокислотный , прямоточная
6	Одноступенчатое H- катионирование на слабокислотном катионите с «голодной» регенерацией	$Ж \geq 0,01$ Щ $\leq 0,1$	2000	Сильнокислотный , противоточная
7	Параллельное H- Na- катионирование	$Ж \geq 0,05$ Щ $\geq 0,35$	500 – 700	Сильнокислотный , прямоточная

8	Последовательное Н- Na- катионирование	$Ж \geq 0,05$ $Щ \geq 0,7-1,0$	500 – 700	Сильнокислотный , противоточная
9	Последовательное Na-Cl- ионирование	$Ж \geq 0,01$ $Щ \geq 0,3-0,5$		Сильнокислотный , сильноосновной анионит

При использовании противоточной регенерации одноступенчатой системы Na-катионирования можно добиться такой же глубины умягчения, как и при двухступенчатой. Глубоко отрегенированные нижние слои играют роль второй ступени умягчения и, таким образом, позволяют более полно использовать обменную емкость фильтра. Применение противоточной регенерации по сравнению с прямоточной позволяет при том же расходе соли добиться более глубокого умягчения или обеспечить значительную (на 30-50%) экономию соли при тех же параметрах очищенной воды, значительно увеличив фильтроцикл. Схема Na-катионирования с противоточной регенерацией показана на рис. 2.11д (табл. 2.3, п. 3).

В случаях, когда из воды необходимо удалить не только ионы жесткости, но также снизить щелочность и частично величину общего солесодержания, используют процессы Н-катионирования, а также последовательного или параллельного Н-Na-катионирования с использованием сильнокислотных или слабокислотных анионитов. Эти технологии позволяют удалить из воды щелочность, однако недостатком этих технологий является использование кислоты и потребность в специальном кислотостойком оборудовании, а также оборудовании для удаления образующейся углекислоты.

Технология Н-катионирования позволяет полностью удалить жесткость и щелочность, а также частично снизить солесодержание. При прохождении через Н-катионит все катионы заменяются ионами водорода, значение рН раствора становится равным 2,5-4,0 в зависимости от исходного солесодержания. Все бикарбонат-ионы полностью переходят в углекислый газ,

который может быть удален в декарбонизаторе. Вода после декарбонизатора содержит только анионы сильных солей и имеет щелочную реакцию. Для ее нейтрализации в воду дозируют раствор щелочи. В результате очищенная вода содержит минимальное значение щелочности ($\text{Щ} \leq 0,1$), содержание катионов соответствует сумме анионов сильных кислот, а величина общего солесодержания становится меньше на величину исходной щелочности.

Схема Н-катионирования показана на рис. 2.11в, г, е (табл. 2.3, п. 4).

Технология Н-катионирования с «голодной» регенерацией, т.е. регенерация без избытка кислоты, позволяет одновременно снизить значение жесткости и щелочности воды.

Как было показано выше, при таких условиях катионит удаляет только карбонатную жесткость, т.е. остаточная жесткость очищенной воды равна разнице значений жесткости и щелочности в исходной воде. Остаточная щелочность близка к 0. Рабочая емкость слабокислотных катионов составляет около 2000 мг-экв/л, что значительно выше, чем при «голодной» регенерации сильнокислотного катионита.

Схема Н-катионирования с «голодной» регенерацией показана на рис. 2.11в (табл. 2.3, п. 5).

Для получения глубокоумягченной воды с одновременным снижением щелочности можно использовать фильтрование в одну ступень через Н-катионитовый фильтр со слабокислотным катионитом. Слабокислотный катионит регенерируется в противоточном режиме в две стадии. Сначала катионит регенерируется кислотой, а затем нижние слои регенерируют раствором щелочи NaOH, благодаря чему нижние слои переходят в Na-форму. Таким образом, в фильтре последовательно осуществляется Н-катионирование (умягчение и снижение щелочности) с последующим Na-катионированием (глубоким умягчением).

Схема процесса Н-катионирования на слабокислотном анионите с «голодной» регенерацией показана на рис. 2.11в (табл. 2.3, п. 6).

При проведении процесса Н-катионирования с «голодной» регенерацией все параметры состава воды за исключением жесткости (щелочность, рН, общее солесодержание) постоянно меняются.

При необходимости поддерживать щелочность на заданном уровне при минимальном значении жесткости применяют параллельное Н-Na-катионирование или последовательное Н-Na-катионирование. При параллельном Н-Na-катионировании часть исходной воды проходит Н-катионирование на сильнокислотном катионите, а другая часть проходит умягчение на Na-катионитовых фильтрах также с сильнокислотным катионитом. Из воды, прошедшей Н-катионирование, удаляются все катионы, замещаясь на катионы водорода. Значение рН раствора становится равным 2,5-4,0 в зависимости от солесодержания. Бикарбонат-ионы разрушаются и переходят в уголекислоту. В воде, прошедшей через катионит в Na-форме, катионы солей жесткости заменены на натрий, рН не меняется. Потоки после Н- и Na-катионитовых фильтров смешиваются в заданных соотношениях и подаются на декарбонизатор, где удаляется растворенная уголекислота.

Отношение потоков после Н-катионирования Q_H^+ к общему потоку обрабатываемой воды $Q_{исх.}$ может быть найдено из соотношения:

$$Q_{И} \cdot Щ_{ост.} = Q_H \cdot Щ_H + Q_{Na} \cdot Щ_{И}.$$

Откуда получим:

$$\frac{Q_H}{Q_{И}} = \frac{Щ_{И} - Щ_{ост.}}{Щ_{И} - Щ_H}, \quad (2.13)$$

где Q_H – поток после Н-катионитового фильтра; $Q_{И}$ – поток исходной воды; $Щ_{И}$ – исходная щелочность воды; $Щ_H$ – щелочность после Н-катионитового фильтра; $Щ_{ост.}$ – щелочность после смешения фильтратов Н-катионитового и Na-катионитового фильтров.

Задаваясь значением остаточной щелочности $Щ_{ост.}$, определяют значение Q_H .

Параллельное Н-Na-катионирование используется тогда, когда остаточная щелочность не превышает 0,35 мг-экв/л, в исходной воде карбонатная жесткость составляет более 50%, а сумма концентраций солей кислых кислот – менее 5-7 мг-экв/л. Схема параллельного Н-Na-катионирования приведена на рис. 2.11г (табл. 2.3, п. 7).

Последовательное Н-Na-катионирование заключается в пропускании части исходной воды через катионит в Н-форме, смешении подкисленного раствора с исходной водой, удаления углекислоты в декарбонизаторе и последующем умягчении всего потока на Na-катионитовом фильтре. Обычно используется «голодная» регенерация Н-катионитовых фильтров, и в воде после Н-катионирования остается некарбонатная жесткость. Величина щелочности перед Na-катионированием поддерживается на уровне 0,7-1,0 мг-экв/л.

Последовательное Н-Na-катионирование используется для вод с повышенной минерализацией (более 1000 мг/л), когда величина карбонатной жесткости составляет менее 50% от общей. Схема процесса представлена на рис. 2.11е (табл. 2.3, п. 8).

2.1.7. Оборудование ионообменных установок. Реагентное хозяйство ионообменных установок

В отечественной промышленности применяются ионообменные аппараты (фильтры) периодического действия. Аппараты периодического действия отличаются тем, что все технологические процессы (ионный обмен, взрыхление, регенерация, отмывка) проводятся в одном аппарате. В зависимости от направления движения очищаемого раствора фильтры могут быть прямоточными (параллельноточными) и противоточными.

Управление работой фильтров осуществляется открытием и закрытием задвижек для подачи воды или регенерационного раствора. Чаще всего используются задвижки с электроприводом. Часто используются запорные клапана с пневматическим или гидравлическим приводом. Импортные системы

ионного обмена небольших производительностей используют для управления ионообменными фильтрами многоканальные клапаны. Кроме ионообменных фильтров станции водоподготовки используют оборудование для приготовления регенерационных растворов, баки, насосы и др.

Катионитовые и анионитовые фильтры прямоточного типа серийно выпускаются на Бийском котельном заводе (БиКЗ) диаметром 1,0 и 1,5 м и на Таганрогском заводе «Красный котельщик» (ТКЗ) диаметром 2,0; 2,6; 3,0 и 3,4 м. Фильтры состоят из корпуса верхнего распределительного устройства и дренажной системы для отвода из фильтра очищенной воды и подачи в него воды для взрыхления ионита (нижнего дренажного устройства) (рис. 2.12).

Верхнее распределительное устройство служит для распределения по площади фильтра исходной воды, подачи в фильтр регенерационного раствора и отвода из фильтра воды при взрыхлении.

Нижнее дренажное устройство представляет из себя коллектор с дренажными колпачками. Внутри корпуса находится слой ионита. Он не должен превышать по высоте 0,5-0,7 высоты фильтра, чтобы избежать потерь (уноса) ионита при его расширении во время взрыхления.

На подводящих и отводящих трубопроводах устанавливается запорная арматура с ручным, гидро-, пневмо- или электроприводом. Схема обвязки прямоточного фильтра показана на рис. 2.13.

Противоточные фильтры несколько сложнее прямоточных, но они позволяют достичь более высокого эффекта очистки и сократить объемы потребляемых реагентов и сбрасываемых стоков. Основной задачей при создании таких фильтров является необходимость обеспечить отсутствие перемешивания во время процессов сорбции и регенерации.

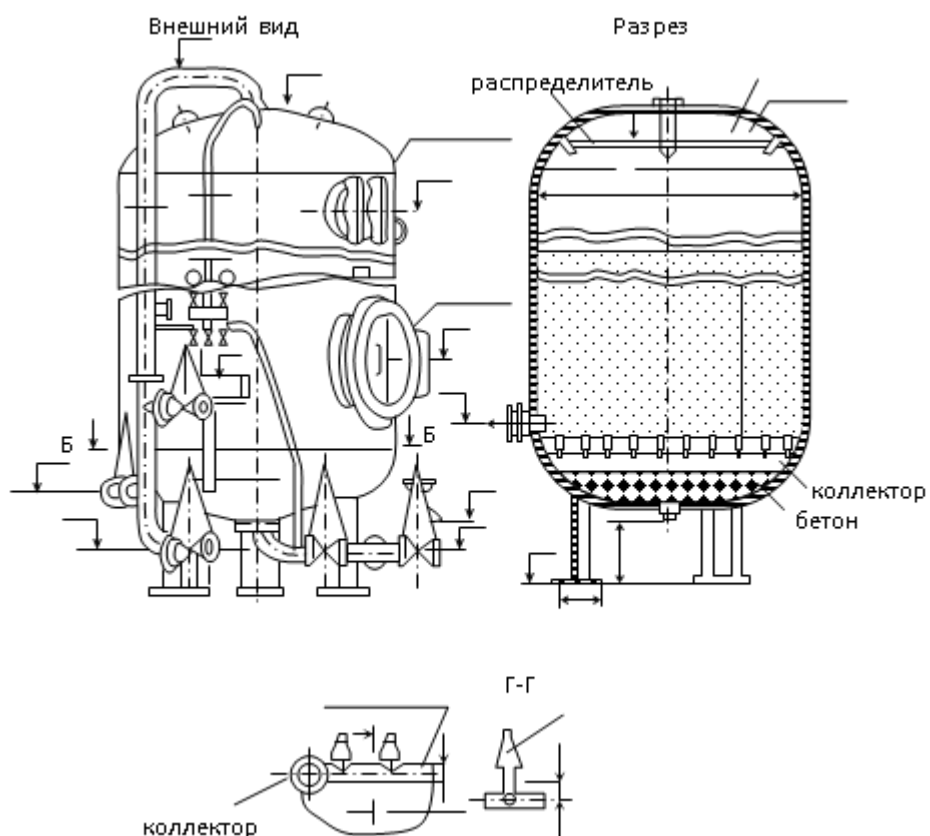


Рис. 2.12. Стандартный параллельноточный натрий-катионитный фильтр первой ступени ФИПа1-

1.5-0.6: а) внешний вид; б) разрез; в) нижнее колпачковое устройство;

1 – корпус; 2- ионит; 3 – коллектор; 4 – бетон; 5 – колпачок; 6 - распределитель

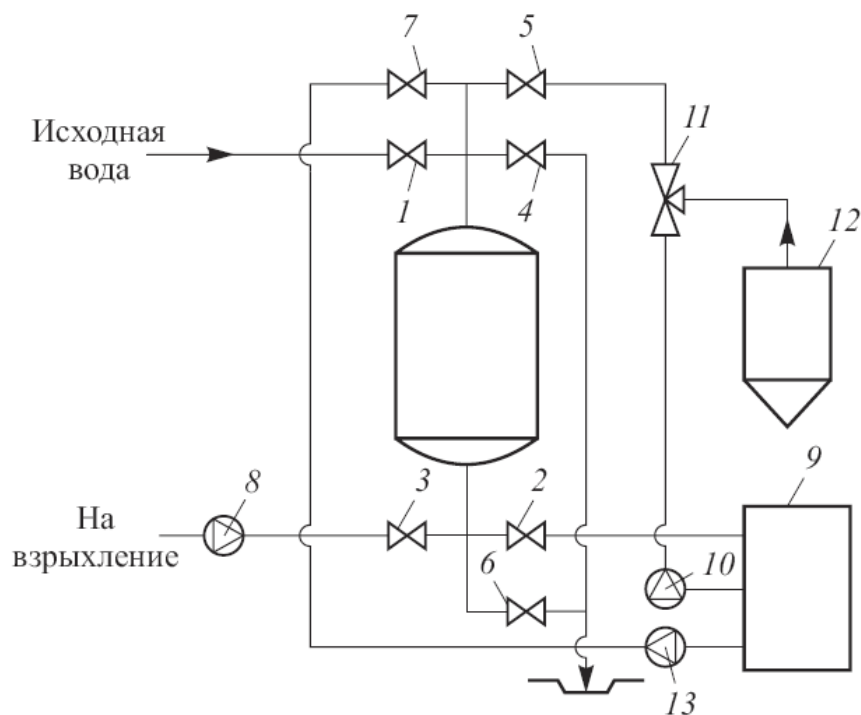


Рис. 2.13. Принципиальная схема обвязки ионитного фильтра:

1 – подача исходной воды, 2 – выход очищенной воды, 3 – подача воды на взрыхление ионита, 4 – сброс воды после взрыхления, 5 – подача регенерационного раствора, 6 – сброс отработанного

регенерационного раствора, 7 – подача воды для отмывки ионита, 8 – насос подачи воды на взрыхление ионита, 9 – бак очищенной воды; 10 – насос подачи воды для приготовления регенерационного раствора; 11 – эжектор; 12 – бак с крепким регенерационным раствором; 13 – насос подачи воды на отмывку ионита

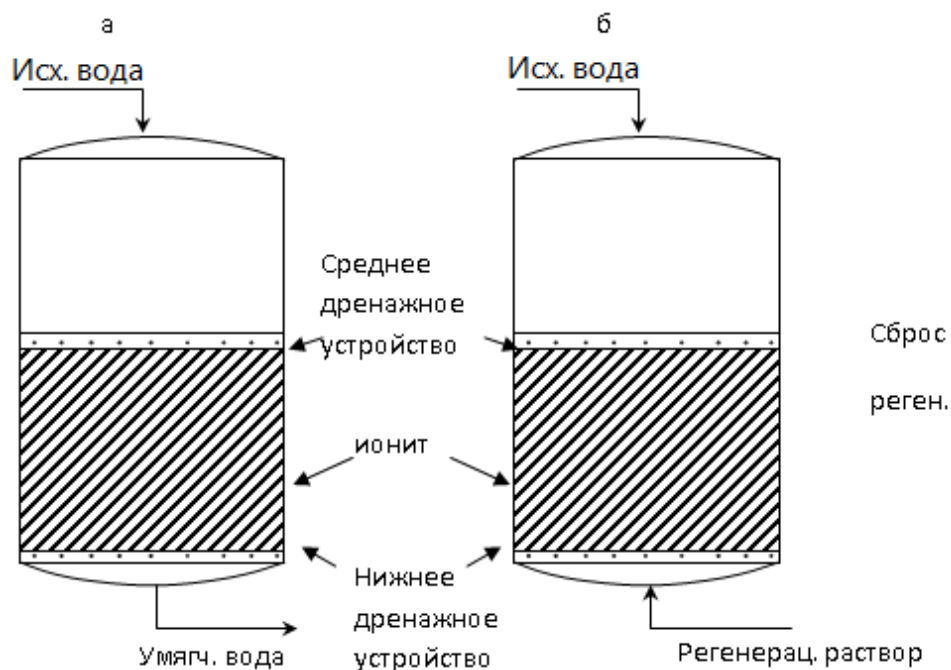


Рис. 2.14. Устройство противоточного фильтра со средним дренажным устройством:
а – режим работы; б – режим регенерации

Конструкция фильтров «с зажатым слоем», серийно выпускаемых Таганрогским заводом «Красный котельщик», показана на рис. 2.14. Такой фильтр состоит из корпуса, верхнего распределительного, среднего сборно-распределительного и нижнего дренажного устройств. Внутри корпуса находится слой ионита, он превышает на 0,15-0,20 м высоту среднего распределительного устройства. Для улучшения качества очистки в зарубежных фильтрах верхняя часть слоя под и над средним дренажом выполняется из инертного материала. Гранулы внутри инертного материала имеют больший диаметр, чем гранулы ионита, благодаря чему большая часть взвеси задерживается инертным слоем, и улучшаются условия работы средней дренажной системы.

Мокрое хранение соли для удобства эксплуатации осуществляют не менее чем в двух железобетонных резервуарах (рис. 2.15). Схема кислотного хозяйства показана на рис. 2.16.

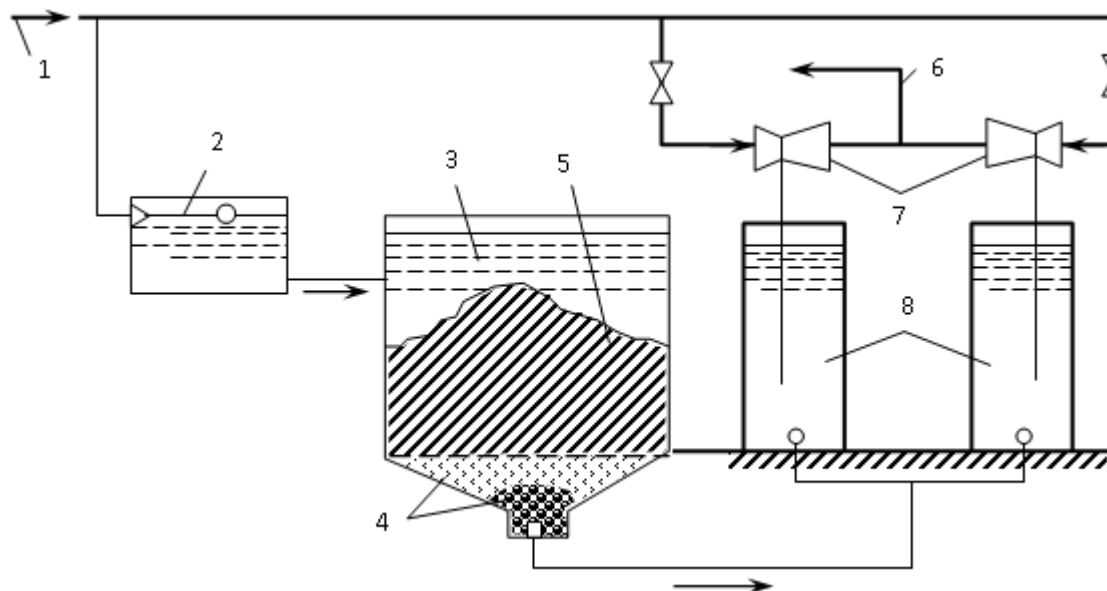


Рис. 2.15. Схема солевого хозяйства:

1 – подача воды; 2 – бак постоянного уровня; 3 – резервуар-хранилище поваренной соли; 4 – гравийно-песчаный осветлительный фильтр; 5 – слой соли; 6 – отвод раствора соли на регенерацию; 7 – эжектор; 8 – расходные баки соли.

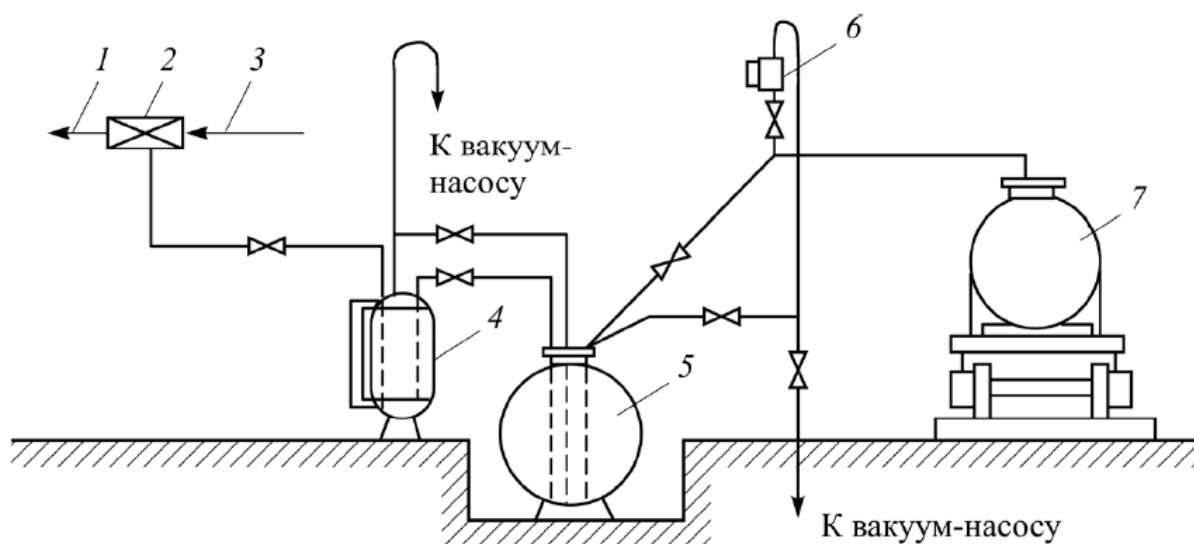


Рис. 2.16. Схема кислотного хозяйства:

1 – отвод 1% регенерационного раствора кислоты; 2 – эжектор; 3 – подача воды; 4 – мерный бак; 5, 7 – стационарная и железнодорожная цистерна; 6 – промежуточный бачок

2.2. Обессоливание воды

2.2.1. Классификация методов обессоливания воды

Обессоливанием называют снижение солесодержания воды до концентраций, близких к значениям содержания солей в дистиллированной воде и ниже. Существующие методы обессоливания воды подразделяют на две основные группы: с изменением и без изменения агрегатного состояния воды. К первой группе методов относят дистилляцию, нагрев воды до сверхкритической температуры (350 °С), замораживание, газогидратный метод; ко второй – ионный обмен, обратный осмос, электродиализ, электродеионизация, прямой осмос и др. Наиболее распространены в практике дистилляция, ионный обмен, обратный осмос и электродеионизация.

Выбор метода обусловливается качеством исходной и требованиями к качеству обработанной воды, производительностью установки и технико-экономическими соображениями. Стоимость обессоливания воды ионным обменом сильно возрастает с увеличением содержания соли в воде; одновременно снижается глубина обессоливания воды. Поэтому обессоливание ионным обменом предпочтительно для вод со степенью минерализации менее 0,8-1,0 г/л. Выбор метода обессоливания для воды со степенью минерализации более 1,0 г/л должен производиться экономическим сравнением обратного осмоса, дистилляции, электродиализа или других методов с учетом местных условий.

Дистилляция требует высоких эксплуатационных затрат. В настоящее время используется много крупных дистилляционных установок для водоснабжения городов, использующих избыточное низкопотенциальное тепло АЭС или дешевые тепловые ресурсы (нефть). Для опреснения подземных вод долгое время считается эффективным процесс электродиализа.

Эксплуатационные затраты (электроэнергии) пропорциональны перенесенной через мембрану соли, поэтому процесс электродиализа оптимален при солесодержании воды от 1,5 до 6 г/л.

Для большинства случаев опреснения наиболее эффективным и экономически целесообразным признан процесс обратного осмоса – как для подземных вод с малой минерализацией, так и морских вод. Производительность современных установок составляет от 0,1 до 100000 м³/ч. В ряде случаев для опреснения используют метод ионного обмена. Однако вследствие высоких затрат на регенерацию использование его ограничивается получением малых объемов воды (например, в чрезвычайных ситуациях). Основные технологии и методы опреснения воды показаны в табл. 2.4.

В большинстве производств используется вода, не содержащая солей жесткости и других ионов солей. Например, для современных паровых котлов требуется вода с общим солесодержанием менее 80 мг/л. Для паровых котлов ТЭЦ, а также для контуров АЭС вода не должна содержать солей более 0,05 мг/л. В электронной промышленности изготавливаемые микросхемы промываются глубоко обессоленной водой, качество которой определяется величиной удельного электрического сопротивления воды на уровне 18 МОм/см. В химической промышленности (приготовление химических реагентов и растворов), в фармацевтической промышленности (для приготовления лекарственных препаратов), в гальванической промышленности и других используется дистиллированная вода (обессоленная вода с солесодержанием 1 – 5 мг/л).

В пищевой промышленности используется частично обессоленная вода – умягченная и со сниженной щелочностью. Традиционно во всех видах промышленности использовался метод ионного обмена. Однако наличие солевых стоков регенерационных растворов и высокие стоимости реагентов в настоящее время ограничивают его применение. В качестве альтернативы методам ионного обмена используются мембранные методы обратного осмоса,

электродиализе (электродеионизации) и их комбинации. Современные технологические схемы обессоливания разрабатываются с учетом экологических требований по сбросу рассолов с обессоливающих установок, и минимальных затрат на электроэнергию и реагенты.

Таблица 2.4

Классификация методов и технологий обессоливания

№ п/п	Процесс	Аппаратное оформление	Глубина обессоливания	Область применения
1	Дистилляция	Выпарные установки Адиабатные Парокомпрессионные	5 – 10 мг/л	Подготовка воды для химической и фармацевтической промышленности
2	Ионный обмен	Одноступенчатая схема Н-ОН	до 80 мг/л	Водоподготовка для паровых котлов
		Двухступенчатая схема обессоливания	до 1 мг/л	Вода для химических производств
		Трехступенчатая схема глубокого обессоливания	< 0,1 мг/л	Паровые котлы высокого давления ТЭЦ
3	Обратный осмос	Одноступенчатая система	> 2-3 мг/л	Системы опреснения морской и подземной воды;
		Двухступенчатая система	>= 1мг/л	Системы водоподготовки для различных отраслей промышленности
4	Электро-деионизация		Глубокое обессоливание воды	Солесодержание исходной воды – не выше 10 мг/л. Солесодержание обессоленной воды – 0,05 мг/л. Удельная электропроводность обессоленной воды менее 1 мкСм·см.
5	Электродиализ		Разделение	Схемы

	на биполярных мембранах		стоков ионообменных установок на кислые и щелочные растворы	ионообменного обессоливания, утилизация сбросных рассолов
6	Электродиализ (в комбинациях с другими процессами)	Электродиализ; электродиализ – ионный обмен; обратный осмос – электродеионизация; обратный осмос – электродеионизация – ионный обмен	до 50 мг/л; общее солесодержание 0,1 мг/л, удельное электросопротивление воды до 18 МОм/см	Технологические схемы подготовки добавочной воды для котлов ТЭС, установки подготовки глубоко деионизованной воды для электронной промышленности

2.2.2. Выпаривание (дистилляционные методы)

Теоретические основы опреснения воды методом дистилляции.

Технология выпаривания известна давно как способ получить очищенную (дистиллированную) воду из растворов любой степени загрязненности. Эффективность такого метода достаточно высока, однако большие энергетические потери (на парообразование) часто делают эту технологию экономически нецелесообразной.

Большое развитие дистилляционные методы получили при разработке систем опреснения морской воды. Совершенствование систем дистилляционной очистки и рекуперация энергии (создание многоступенчатых адиабатных испарительных установок) делает этот метод достаточно эффективным и экономически целесообразным (при наличии дешевых источников энергии) особенно при больших расходах опресненной воды.

Метод дистилляции (испарения) используется также и в системах водоподготовки – ТЭЦ и при подготовке добавочной воды контуров АЭС. Испарительные системы оказываются экономически целесообразными при обработке вод с высокой степенью загрязненности – например, при высоких

значениях солесодержания, цветности, содержания растворенных органических веществ – в тех случаях, когда альтернативные методы (например, ионный обмен) оказываются неэффективными.

При очевидной эффективности выпарных установок, они обладают высоким энергопотреблением. Кроме того, достаточно сложные конструкции аппаратов, большие габариты и дорогостоящие материалы делают эксплуатационные затраты чрезвычайно высокими.

При нагревании соленой воды до температуры, более высокой, чем температура кипения воды данного солесодержания при данном давлении происходит процесс образования пара внутри объема жидкости, и вода начинает кипеть. Образующийся при кипении воды пар практически не содержит солей, поэтому при его конденсации образуется пресная вода. Этот процесс термического опреснения получил название дистилляции.

Для испарения 2 кг воды ее нужно нагреть до температуры кипения и затем сообщить дополнительно тепло, необходимое для фазового перехода воды в пар, так называемую скрытую теплоту парообразования, равную при температуре 100°C – 539,55 ккал/кг.

Для осуществления процесса выпаривания необходимо теплоту от теплоносителя передать кипящему раствору, что возможно лишь при наличии разницы температур между ними. Разницу температур между теплоносителем и кипящим раствором называют полезной разностью температур. В качестве теплоносителя в выпарных аппаратах чаще всего используют насыщенный водяной пар, который называют греющим или первичным.

При конденсации пара для его превращения в воду нужно отнять у пара тепло фазового перехода (539,55 ккал/кг), что возможно только тогда, когда температура поверхности конденсации ниже температуры насыщения, отвечающей данному давлению пара. Это тепло может быть в значительной степени рекуперировано. Степень рекуперации тепла фазового перехода характеризует экономичность различных типов дистилляционных

опреснительных установок, отличающихся друг от друга организацией процесса кипения-конденсации и конструктивным исполнением.

Выпаривание проводят при атмосферном давлении, под вакуумом или под давлением, выше атмосферного.

Выпаривание под вакуумом имеет ряд преимуществ по сравнению с атмосферной выпаркой: снижается температура кипения, повышается полезная разность температур, что ведет к снижению поверхности теплопередачи. При выпаривании под повышенным давлением (выше атмосферного) вторичный пар может быть использован в качестве греющего агента для различных технологических нужд.

Образующийся при выпаривании растворов пар называют вторичным или соковым.

В случае если в выпарной установке имеется один выпарной аппарат, такую установку называют однокорпусной или одноступенчатой. Если в установке используются два или более последовательно соединенных аппарата, то такую установку называют многокорпусной (многоступенчатой). В этом случае вторичный пар одной ступени используют для нагревания в других выпарных аппаратах той же установки, что приводит к существенной экономии свежего греющего пара. Вторичный пар, отбираемый из выпарной установки для других нужд, называют экстра-паром.

В многоступенчатых установках свежий пар подают только в первый аппарат. Из аппарата первой ступени образовавшийся вторичный пар поступает в аппарат второй ступени этой же установки в качестве греющего, в свою очередь вторичный пар второй ступени поступает в аппараты третьей ступени в качестве греющего пара и т.д.

Классификация, принципы работы и схемы опреснительных дистилляционных установок.

Дистилляционные установки различаются по:

- характеру использования тепла и степени его рекуперации: одноступенчатые и многоступенчатые;

- принципу использования давления испарители могут быть вакуумными, в которых кипение воды происходит под давлением ниже атмосферного. К таким установкам относят адиабатные и термокомпрессионные атмосферным или работающие под избыточным давлением выше атмосферного, в которых получаемый пар может быть использован в качестве греющего агента;

- принципу движения жидкости все типы испарителей разделяются на проточные, через которые испаряемая вода проходит один раз, и циркуляционные, в которых испаряемая вода циркулирует;

- в зависимости от взаимного направления движения раствора и греющего пара от аппарата к аппарату, разделяют прямоточные и противоточные выпарные установки, а также установки с параллельной или со смешанной подачей раствора в аппараты.

Одноступенчатые выпарные установки (рис. 2.17) представляют собой испаритель 1, в нагревательный элемент 2 которого от внешнего источника подводится тепло (обычно в виде пара) для испарения соленой воды. Образующийся при кипении опресняемой воды пар направляется в конденсатор 3, охлаждаемый исходной соленой водой, где конденсируется. Исходная соленая вода насосом 4 подается в трубки конденсатора, где нагревается за счет тепла конденсации пара. Прошедшая через конденсаторы нагретая вода сбрасывается в сток или используется для технологических целей, часть ее идет на подпитку испарителя. Для предотвращения загрязнения пара капельками кипящего рассола в испарителе имеется сепаратор 5 отделяющий капли жидкости от пара, идущего в конденсатор.

Загрязнение пара солями происходит за счет выноса капелек размером от 0,5 до 5 мкм, образующихся при лопании (разрушении, разрыве) паровых пузырьков выходящих с поверхности кипящей соленой воды. При кипении морской воды образующийся дистиллят содержит 20-40 мг солей в литре.

Многоступенчатые выпарные установки (рис. 2.18) имеют несколько последовательно соединенных аппаратов. В этом случае полученный вторичный пар первой ступени используют для нагрева воды в аппаратах следующих ступеней, что приводит к существенной экономии греющего пара. Таким образом, тепло конденсации пара предыдущей ступени используется для догрева и испарения воды в испарителе последующей ступени.

В одноступенчатой установке 1 т конденсирующегося греющего пара позволяет получить 0,85 – 0,95 т опресненной воды. При этом почти всё тепло фазового перехода теряется на бесполезный нагрев охлаждающей воды конденсатора. В многоступенчатых установках расход тепла на 1 т полученного дистиллята будет приблизительно равен $1/n$ от тепла фазового перехода, или $536/n$, где n – число ступеней установки.

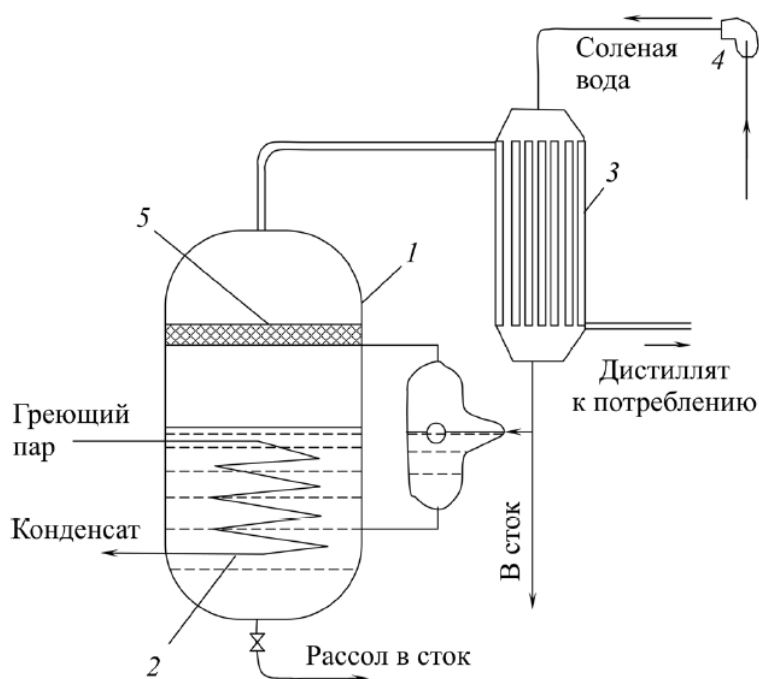


Рис. 2.17. Схема одноступенчатой испарительной установки:

1 – испаритель; 2 – нагревательный элемент; 3 – конденсатор; 4 – насос подачи соленой воды; 5 – сепаратор.

Вторичный пар и частично упаренный раствор направляют из аппаратов 1 ступени в аппарат 2 ступени и т.д.

Прямоточные схемы выпарных установок по сравнению с другими циркуляционными обладают рядом преимуществ:

- перетекание упариваемой воды из аппарата в аппарат благодаря разности давлений идет самотеком, поэтому отпадает необходимость в применении перекачивающих насосов;

- температуры кипения воды и давления вторичных паров в аппарате каждой последующей ступени ниже, чем в аппарате предыдущей ступени, поэтому вода поступает в аппарат перегретой. Теплота, которая выделяется при охлаждении перегретой воды до температуры кипения в аппарате последующей ступени, идет на дополнительное испарение воды. Это явление получило название самоиспарения.

Конденсат вторичного пара также оказывается перегретым и подверженным самоиспарению, поэтому дополнительно образующийся при самоиспарении конденсата предыдущей ступени пар направляется в последующую ступень в качестве греющего пара (рис. 2.18). Образование дополнительного пара происходит в самоиспарителе, куда направляется конденсат вторичного пара каждой ступени (кроме первой).

Недостатками прямоточной схемы выпарной установки являются понижение температуры кипения и повышение концентрации солей от первой ступени к последней. Это приводит к повышению вязкости раствора и, следовательно, к снижению интенсивности теплоотдачи при кипении, уменьшению коэффициента теплопередачи и, как следствие, к увеличению общей требуемой поверхности теплопередачи. Однако достоинства прямоточной схемы имеют решающее значение, что определило ее широкое распространение, особенно в опреснителях на морских судах.

Выпаривание под вакуумом имеет ряд преимуществ по сравнению с атмосферной выпаркой:

- снижается температура кипения раствора, что дает возможность не использовать дорогостоящие методы предотвращения накипобразования и теплоизолирующие материалы

- повышается полезная разность температур, что ведет к снижению требуемой поверхности теплоотдачи выпарного аппарата

- снижаются потери тепла в окружающую среду (снижаются температуры стенок аппаратов)

К недостаткам процесса выпаривания под вакуумом относится:

- увеличение капитальных затрат на дополнительное оборудование – конденсатор, вакуум – насос и др.

- увеличение расхода греющего пара на 1 кг выпариваемой жидкости (вследствие снижения давления над раствором увеличивается значение теплоты парообразования).

Адиабатные испарители или испарители с мгновенным вскипанием типа «флеш» отличаются тем, что испарение воды происходит в камере, давление в которой поддерживается ниже, чем давление насыщенного пара при температуре, которую имеет поступающая в камеру исходная вода. Исходная вода поступает в камеру через сопло или отверстие. Испарение воды в адиабатных испарителях происходит как с поверхности капель воды при ее разбрызгивании из сопел, так и с поверхности воды, заполняющей нижнюю часть камеры испарителя.

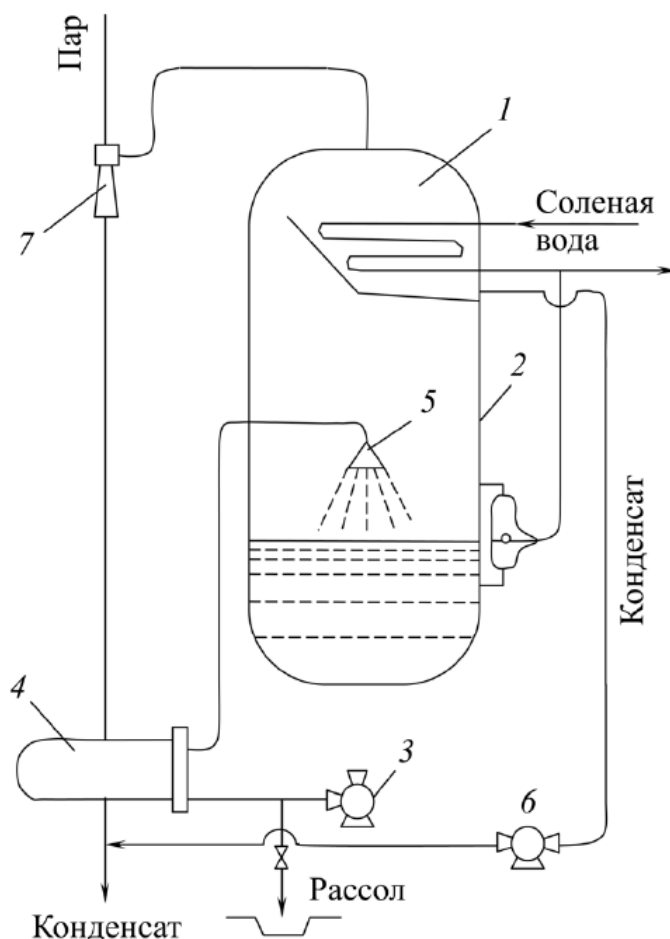


Рис. 2.19. Схема одноступенчатого адиабатного испарителя с принудительной циркуляцией:
 1 – конденсатор; 2 – испаритель; 3 – циркуляционный; 4 – трубчатый подогреватель; 5 – сопло; 6 – насос откачки конденсата; 7 – паровой эжектор.

На рис. 2.19 представлена схема одноступенчатого адиабатного испарителя с принудительной циркуляцией. Исходная соленая вода для нагрева проходит конденсатор 1, откуда часть ее через регулятор уровня поступает в камеру испарителя 2. Циркуляционный насос 3 забирает воду из камеры испарителя и подает ее в трубчатый подогреватель 4, где вода подогревается паром. Подогреватель 4 располагается ниже зеркала воды в испарителе, вода в трубках подогревателя находится под дополнительным гидростатическим давлением и не кипит. Прошедшая подогреватель вода поступает в сопло 5, через которое разбрызгивается в корпусе испарителя. Так как давление в корпусе 2 поддерживается с помощью парового эжектора 7 ниже давления насыщенного пара, часть воды испаряется, пар поступает в конденсатор 1, где

конденсируется на поверхности трубок, собирается в поддоне 8, откуда откачивается насосом 6.

В многоступенчатых адиабатных испарителях для экономии тепла соленая вода последовательно, начиная от аппарата последней ступени, проходит через конденсаторы всех камер испарителя, нагреваясь за счет тепла конденсации пара (рис. 2.20). Подогретая исходная вода сначала догревается в конденсаторе паровых эжекторов 3, поддерживающих вакуум в камерах испарителя, а затем в подогревателе 4, куда подводится тепло греющего пара. Нагретая вода из подогревателя поступает в первую камеру испарителя, которая служит одновременно деаэратором. Часть воды испаряется в первой камере, пар конденсируется на трубках конденсатора 5, расположенного в верхней части корпуса аппарата. Неиспарившаяся вода переливается во второй аппарат, где значения давления и температуры оказываются ниже, чем в первой камере. Неиспарившаяся во всех ступенях вода откачивается из последнего аппарата насосом 1 и сбрасывается в сток. Конденсат во всех аппаратах стекает с трубок конденсаторов в расположенные под ними корыта и из них насосом перекачивается в резервуар опресненной воды. Вследствие небольшой полезной разницы температур (70-80 °С) количество ступеней в таких установках доходит до 30-40.

Многоступенчатые адиабатные опреснительные установки нашли наибольшее распространение для опреснения морской воды, особенно в странах Ближнего Востока.

Термокомпрессионные испарители называют также парокompрессорными или испарителями с тепловым насосом.

Многоступенчатым выпарным установкам присущ ряд недостатков: высокая стоимость оборудования, большая занимаемая площадь, высокая температура кипения и др. Эти недостатки преодолеваются при выпаривании с тепловым насосом.

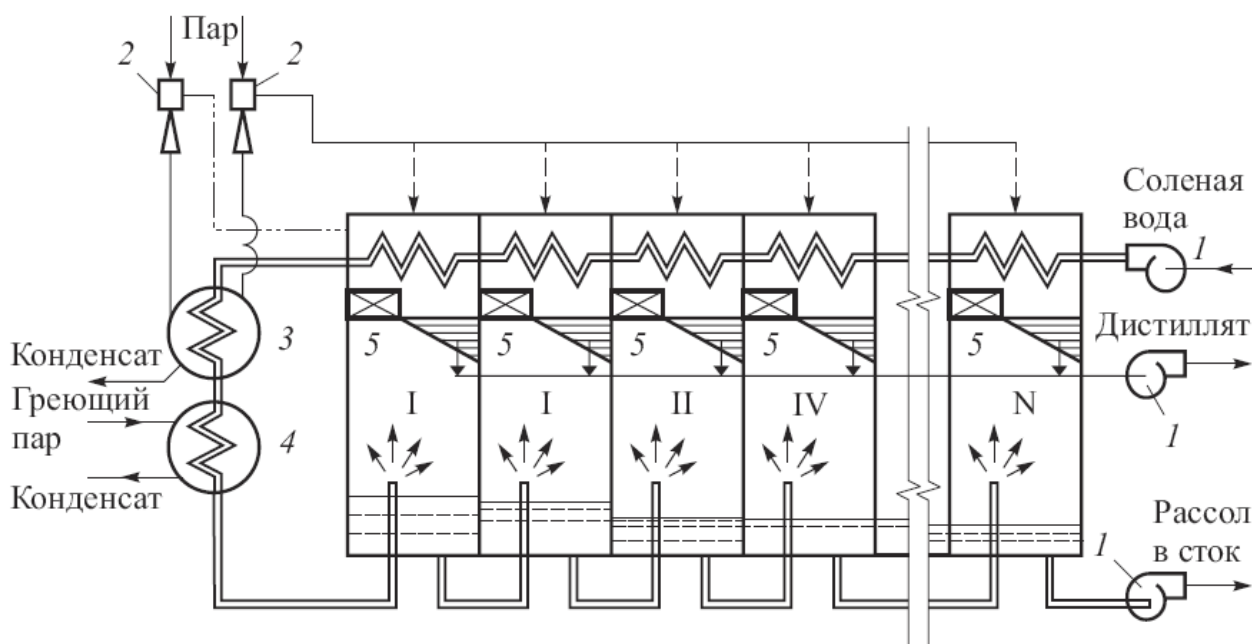


Рис. 2.20. Схема многокамерного противоточного адиабатного испарителя

Вторичный пар, образующийся при упаривании воды, с помощью турбокомпрессора или парового эжектора сжимается (компримирует) до величины давления греющего пара и вновь подают в нагревательную камеру этого же аппарата.

Нагретый после сжатия вторичный пар, конденсируясь, отдает тепло исходной воде. Таким образом, первичный греющий пар необходим в основном для пуска аппарата в работу, а затем — в небольшом количестве — для компенсации снижения теплоты конденсации пара после его сжатия в тепловом насосе и потерь тепла в окружающую среду.

Принципиальная схема термокомпрессионного аппарата показана на рис. 2.21. Исходная соленая вода поступает в корпус испарителя 1, где в результате работы вакуум-компрессора 2 создается вакуум. Соленая вода кипит в вакууме, пары ее отсасываются вакуум-компрессором и сжимаются им. Механическая работа сжатия переходит в теплоту, пар нагревается до температуры более высокой, чем температура соленой воды в испарителе, и подается в рубчатый теплообменник, погруженный в испаряемую воду. При этом пар конденсируется, и тепло конденсации используется для испарения новой

порции воды. Для запуска испарителя служит стартовый котел 3, который подает пар в нагреватель 4 для нагрева воды в первый период работы установки.

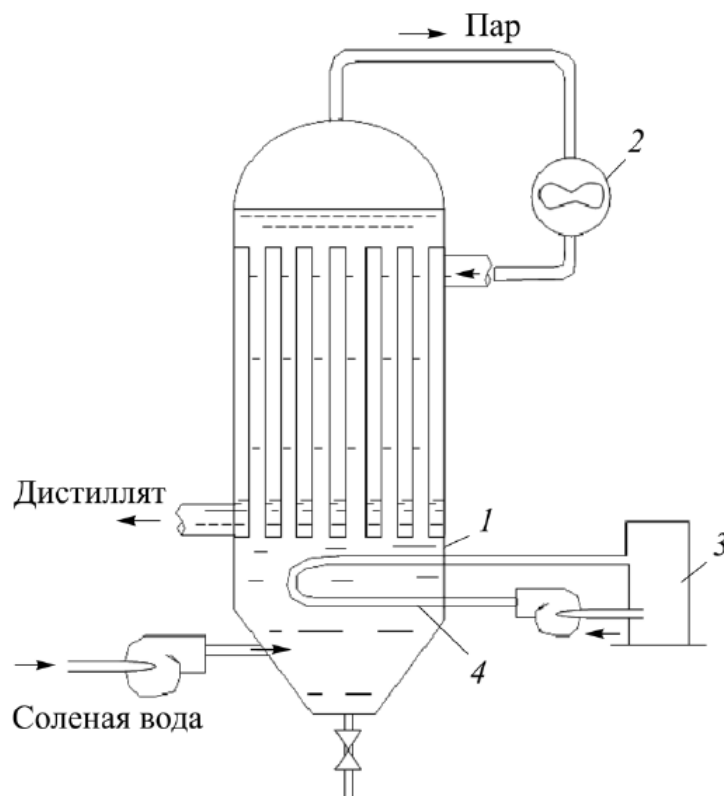


Рис. 2.21. Схема термокомпрессорного испарителя:

1 – корпус; 2 – вакуум-компрессор; 3 – стартовый котел; 4 – нагреватель.

Однако необходимость использования для работы дорогостоящей электрической энергии сужает область применения выпарных аппаратов с турбокомпрессорами. Экономически целесообразнее использование для этих целей более дешевых видов энергии, в частности, энергии пара, например, с помощью пароструйных инжекторов. В этом случае вторичный пар подают в инжектор, где он сжимается до давления греющего пара посредством рабочего первичного пара более высоких термодинамических параметров.

Парокомпрессионные установки часто успешно конкурируют с многоступенчатыми выпарными установками при небольших и средних

производительностях по опресненной воде. Наибольшее распространение они получили на судовых опреснителях.

Наибольшее распространение в России для восполнения потерь питательной воды паровых котлов получили испарители типа «И», выпускаемые производственным объединением «Красный Котельщик», г. Таганрог (ГОСТ 10731-85). Увеличение производительности испарителя можно добиться с увеличением температурного напора – разности температур насыщения, соответствующих значениям давлений греющего и вторичного (образующегося) пара.

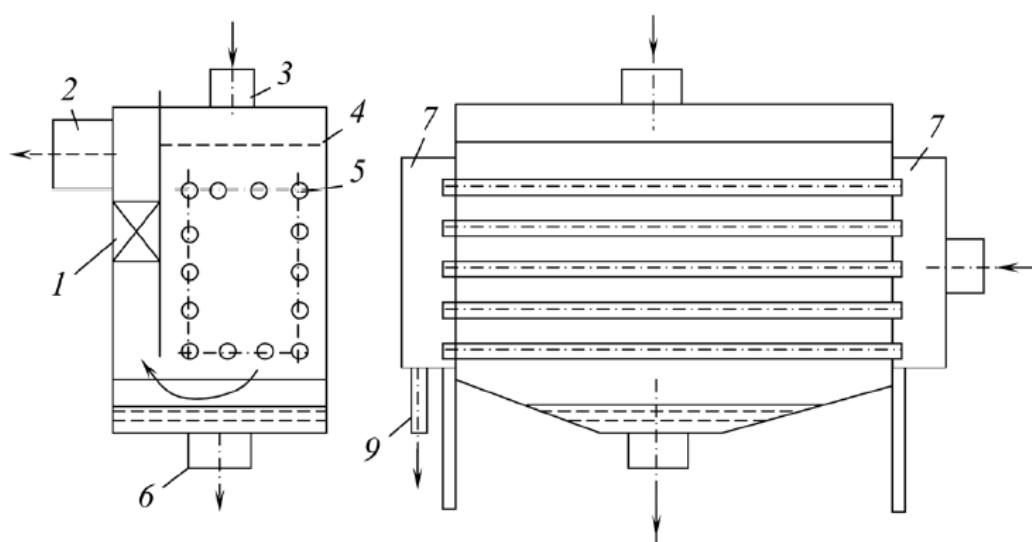


Рис. 2.22. Устройство горизонтально-трубного пленочного испарителя

1 – каплеулавливатель; 2 – патрубок выхода вторичного пара; 3 – подача исходного раствора; 4 – распределительное устройство; 5 – трубный пучок; 6 – выход упаренного раствора; 7 – паровая камера; 8 – подача греющего пара; 9 – выход конденсата.

Современной и наиболее эффективной конструкцией аппаратов для дистилляции является конструкция горизонтально-трубного пленочного испарителя (рис. 2.22). Она представляет собой горизонтально расположенный пучок труб, которые снаружи орошаются жидкостью, стекающей по ним в виде тонкой пленки и испаряющейся за счет теплоты конденсации пара,

поступающего внутрь трубок. Коэффициент теплопередачи в таких установках на порядок выше, чем при использовании нагревателей погружного типа.

Установки с горизонтально-трубными пленочными испарителями используются как для опреснения воды, так и для получения обессоленного дистиллята для систем водоподготовки ТЭС.

Накипеобразование в испарителях. Методы предотвращения накипеобразования.

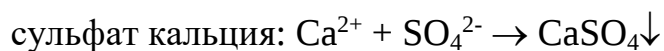
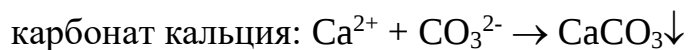
Опыт эксплуатации испарителей, обрабатывающих солоноватую или соленую воду, показывает, что серьезные проблемы вызывает интенсивное зарастание поверхностей теплообмена накипью – кристаллическими осадками малорастворимых в воде солей кальция и магния. Это обусловлено высокой жесткостью подземных и морских вод. Образование накипи на греющих теплопередающих поверхностях испарителей приводит к резкому снижению эффективности их работы, возникает необходимость частой остановки и чистки испарителей, что сопряжено с большими эксплуатационными расходами.

Основными соединениями, входящими в состав накипи, являются карбонат кальция, гидроокись магния и сульфат кальция. В ряде случаев в составе накипи обнаруживают силикаты кальция и магния. Слой накипи обладает низкой теплопроводностью, которая зависит от химического состава накипи и ее пористости.

Образование накипи в испарителях обусловлено двумя основными причинами: повышением при испарении воды концентраций осадкообразующих ионов, и отрицательными значениями коэффициентов растворимости солей жесткости.

Повышение концентрации в испаряемой воде осадкообразующих ионов (Ca^{2+} , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} и др.) приводит к тому, что их содержание в воде превышает пределы их растворимости. Произведение активных концентраций ионов оказывается больше произведения растворимости этого соединения. В таком

случае вода оказывается пересыщенной по этим соединениям, в результате чего образуются их осадки:



В первую очередь пересыщение воды возникает у поверхности нагрева вследствие того, что накипеобразующие соединения CaCO_3 , CaSO_4 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$ имеют отрицательный коэффициент растворимости, т.е. растворимость их уменьшается при повышении температуры воды.

Основным общепринятым требованием по предотвращению образования сульфатной накипи является непревышение пределов ее растворимости в упариваемой воде. Значение коэффициентов активности и термодинамической константы растворимости зависят от температуры воды и ее ионной силы, определяемой общим солесодержанием.

Методы борьбы с образованием накипи в испарителях можно классифицировать следующим образом:

- а) ограничение пределов растворимости сульфата кальция;
- б) добавление зернистых присадок;
- в) подкисление исходной воды;
- г) применение антинакипинов (ингибиторов);
- д) умягчение питательной воды;
- е) контактная стабилизация – применение специальных конструкций;
- ж) испарителей для уменьшения накипеобразования;
- з) гидрофобное покрытие поверхности теплопередачи.

Антинакипинами или ингибиторами называют реагенты, добавляемые в исходную испаряемую воду для предупреждения образования накипи или замедления процесса ее роста. По характеру своего действия в дистилляционных опреснительных установках антинакипины могут задерживать рост кристаллизующейся накипи или осаждать образующиеся малорастворимые соли CaCO_3 , CaSO_4 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$ в виде шлама.

Антинакипины дозируются в исходную воду в количестве 1-10 мг/л и представляют собой полимеры. Механизм действия ингибирующих веществ состоит в адсорбировании органических молекул на поверхностях теплопередачи и поверхностях кристаллов накипи, блокируя дальнейший кристаллический рост. При адсорбции антинакипинов грани зародышевых кристаллов покрываются мономолекулярной пленкой органического вещества, что препятствует их дальнейшему росту. Зародыши кристаллов, образовавшиеся в объеме раствора, остаются во взвешенном состоянии и выводятся из установки в виде шлама.

Как показывает опыт эксплуатации опреснителей, применение ингибиторов полностью не предотвращает, но снижает скорости накопления накипи, т.е. уменьшается количество отложений за определенный период работы установки.

В качестве антинакипинов используются органические вещества различного состава и молекулярного веса. Проводятся работы по синтезу новых ингибиторов для повышения эффективности их действия. Наилучшей эффективностью обладают следующие классы ингибирующих веществ:

- полиакрилаты (полиэлектролиты);
- полифосфаты (пирофосфат натрия, гексаметафосфат натрия);
- органофосфонаты – соли фосфорной кислоты;
- ряд ингибиторов, основанных на соединениях малеиновой кислоты, а также итаконовой кислоты.

Одним из эффективных методов борьбы с накипеобразованием в испарителях является добавление в испаряемую воду тонкодисперсных присадок или затравок. При добавлении к испаряемой воде зернистой присадки ее частицы обеспечивают центры кристаллизации накипеобразователя, на которых происходит кристаллизация основной части накипи. Благодаря этому накипь не образуется на поверхности теплопередачи. В качестве присадок используются различные измельченные тонкодисперсные порошки: мела,

гидроокиси магния, измельченная накипь. Крупность частиц составляет 10-40 мкм.

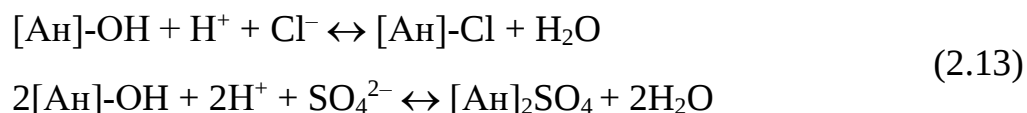
Метод контактной стабилизации заключается в циркуляции рассола через фильтры, загруженные специальной контактной массой (из зерен известняка или другого аналогичного материала), служащие для непрерывного выделения из рассола накипеобразующих соединений, осаждающихся на контактной массе. Эффективность снижения пересыщения рассола зависит от многих факторов – степени пересыщения рассола, времени прохождения рассола через слой контактной массы, крупности контактного материала. Наиболее важно, чтобы время контакта рассола с массой, загруженной в фильтры, соответствовало скорости кристаллизации накипеобразующих веществ для данных условий работы испарителя.

Для снижения концентраций накипеобразующих веществ в питательной воде испарителей используется ряд методов умягчения. Умягчение оправдано для подготовки питательной воды испарителей, работающих при высоких температурах и высоких степенях упаривания. Известные реагентные методы умягчения морской воды из-за большой стоимости реагентов и эксплуатационных трудностей не нашли практического применения. За счет повышения степени упаривания рассола затраты на ионообменное умягчение не только окупаются, но и позволяют снизить себестоимость опресняемой воды на 30%.

2.2.3. Ионообменные методы опреснения и обессоливания воды

Ионнообменный метод опреснения и обессоливания воды основан на последовательном фильтровании воды через Н-катионитовые и ОН-аннионитовые фильтры. Основы работы катионообменных фильтров описаны в разделе 2.1.

Аниониты – иониты, представляющие собой нерастворимые в воде соли и основания с закрепленными на матрице катионитами или анионообменными группами, обменивающиеся в растворах анионами. Анионы функциональных групп анионита (которыми анион был предварительно заряжен) способны обмениваться с анионами из раствора в соответствии с реакциями:



Символом [Ан] обозначена нерастворимая в воде матрица анионита, играющая роль катиона. Условно считают катион [Ан] анионита одновалентным.

В зависимости от степени диссоциации ионогенных групп различаются сильно-, средне- и слабоосновные аниониты.

Сильноосновные аниониты сорбируют все анионы солей из раствора. Они способны обменивать ОН-ион своей активной группы на анионы растворенных в воде солей сильных кислот. Эти аниониты поглощают из воды аниониты кремневой, угольной и других слабых кислот при отсутствии в воде сильных кислот и их солей.

Сильноосновные аниониты наиболее эффективны при значениях pH раствора от 0 до 10. Ряд селективности для стандартного анионита типа АВ-17-8 выглядит следующим образом:



Для регенерации сильнокислотных анионитов используются только концентрированные растворы щелочей, либо концентрированные растворы хлоридов или карбонатов, взятых с большим избытком по сравнению со стехиометрическим количеством.

Таблица 2.5

Технологические характеристики анионитов

Анионит,	Тип	Степень	Рабочий	Размер	Полная
----------	-----	---------	---------	--------	--------

марка	ионогенных групп	диссоциации	диапазон рН	зерен в мм	обменная способность г-экв/м ³ по SO ₄ ²⁻ /SiO ₃ ²⁻
AB-17-8	Четвертичные аминогруппы –N-H ⁺	Сильноосновный	0 – 14	0,2– 0,85	800/400
АН-31	Вторичные и третичные аминогруппы	Слабоосновной	0 – 7	0,3 – 1,6	1000/-
АН-2ФГ		Слабоосновной	0 – 7	0,4 – 2	1500/-
Amberlite IR-4B	– // –	Сильноосновной	0 – 7	0,3– 0,85	1500/-
Amberlite IRA-410		Слабоосновной	0 – 14	0,3– 0,85	1100/350
Dowex-1	– // –	Сильноосновной	0-14	0,3- 0,85	1500
Purolite A845	– // –	Сильноосновной	0-14	Моно	1400
Amberlite Amberjet 1200		Сильноосновной	0-14	Моно	1200
Dowex marathon A, APCORE mono A- 625		Сильноосновной	0-14	Моно	1200

Для регенерации сильнокислотных анионитов используются только концентрированные растворы щелочей, либо концентрированные растворы хлоридов или карбонатов, взятых с большим избытком по сравнению со стехиометрическим количеством.

Сильноосновные аниониты в ОН-форме используются в схемах полного обессоливания воды в основном для доочистки воды от анионов слабых кислот. В схемах глубокого обессоливания через аниониты фильтруют воду, предварительно прошедшую через Н-катионитовые фильтры и очищенную от катионов. Аниониты в Cl-форме могут поглощать из воды такие анионы, как HCO_3^- , NO_3^- , SO_4^{2-} .

При фильтровании через ОН-анионит воды, прошедшей через Н-катионитовый фильтр, в которой катионы заменены на ионы H^+ , происходит обмен анионов OH^- на анионы Cl^- и SO_4^{2-} (2.13).

Бикарбонат-ионы HCO_3^- в поступающей на анионитовые фильтр воде обычно отсутствуют, т.к. образующаяся при Н-катионировании углекислота удаляется в дегазаторе, установленном после Н-катионитовых фильтров.

На рис. 2.23 и 2.24 показаны выходные кривые сорбции анионов и формирование фронтов сорбции в анионитовых фильтрах.

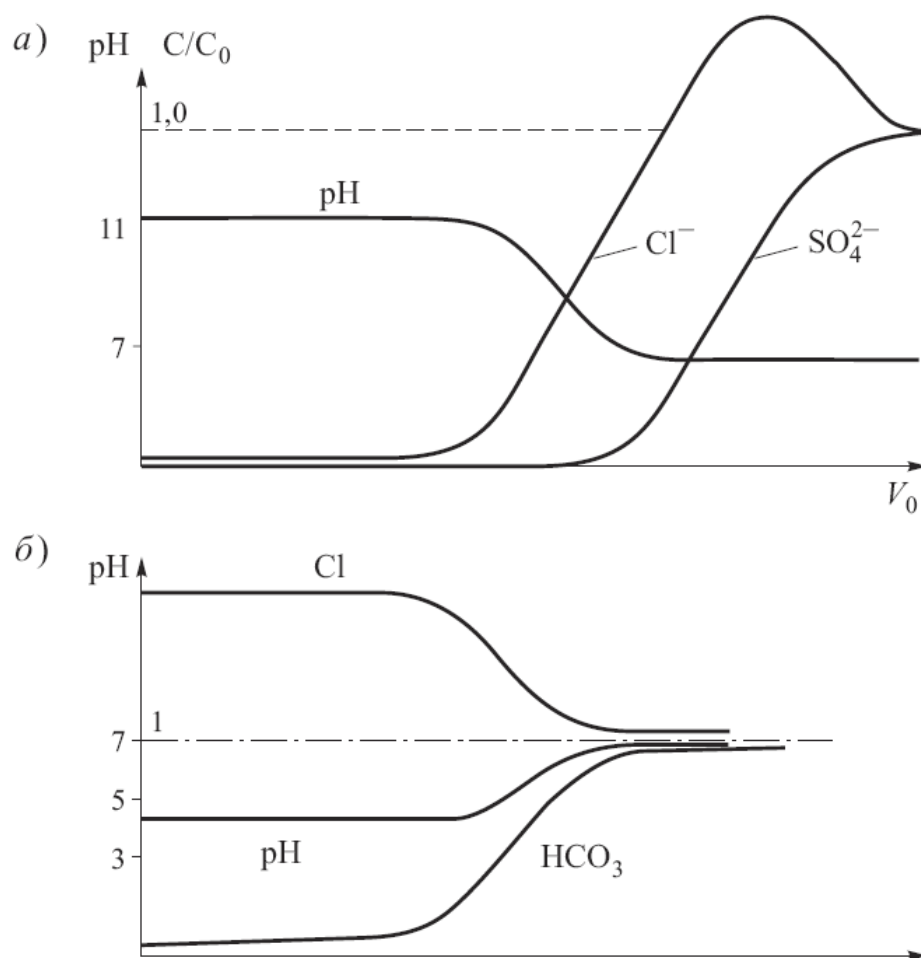


Рис. 2.23. Выходные кривые сорбции анионов Cl^- и SO_4^{2-} на анионите в OH^- форме (а) и в Cl^- - форме (б) C/C_0 – отношение текущей концентрации иона к исходной; V_0 – объем профильтрованной воды

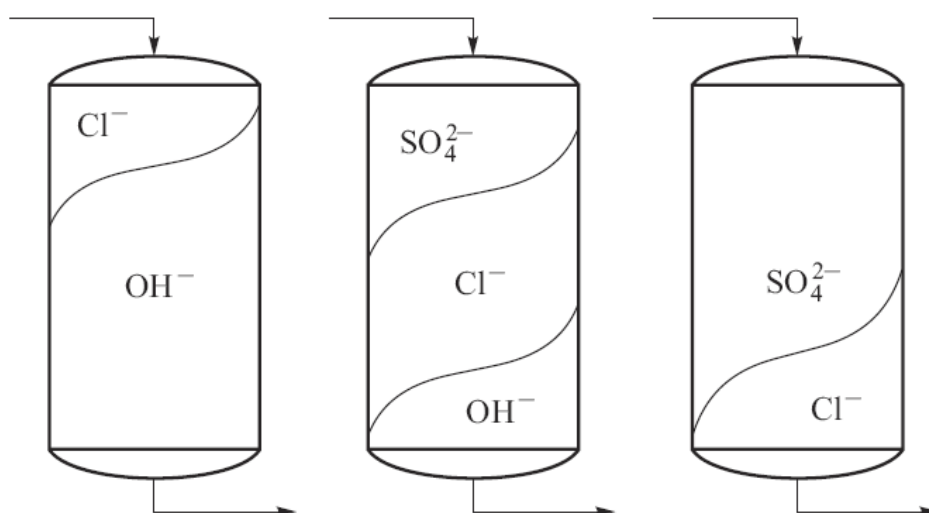
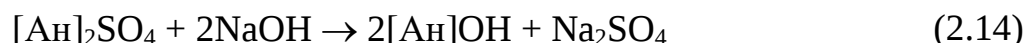


Рис. 2.24. Формирование в анионите в OH^- - форме фронтов сорбции анионитов.

Анионы слабых кислот (кремневой и угольной) сорбируются сильноосновными анионитами, но только при отсутствии в воде сильных кислот и их солей. Поэтому в схемах полного обессоливания воды сильноосновные аниониты обычно используются на II ступени для удаления из воды анионов слабых кислот.

Анионитовые фильтры регенерируют 2-4%-ным раствором щелочи:

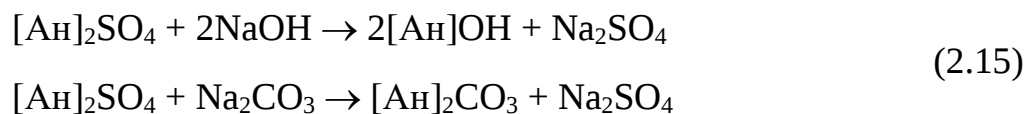


Отмытые от продуктов регенерации анионитовые фильтры снова включают в работу.

Слабоосновные аниониты сорбируют только анионы сильных кислот в кислых средах.

Слабоосновные аниониты обладают значительно большей, чем сильноосновные, обменной емкостью. Их емкость и ряд селективности сильно зависят от pH раствора.

Слабоосновные аниониты имеют высокое сродство к гидроксил-ионам. Поэтому такие аниониты могут извлекать анионы только из кислых сред и регенерируются разбавленными растворами щелочей, взятых практически в стехиометрическом количестве. Реакции регенерации слабоосновных анионитов растворами щелочи или кальцинированной соды выглядят следующим образом:



В схемах глубокого обессоливания слабоосновные аниониты обычно используют на первой ступени после Н-катионовых фильтров для удаления анионов сильных кислот.

Ряд слабоосновных анионитов (например, на основе полиакрилатов) обладают способностью обратимо поглощать природные органические кислоты, что дает возможность использовать их как органопоглотители (скавенджеры).

При обессоливании из раствора удаляются все ионы солей. Степень удаления каждого компонента зависит от селективности ионита. Подбирая тип ионита, режим регенерации и количество ступеней, можно добиться необходимой глубины обессоливания.

Обессоливание может проводиться в одну, две, три ступени. В каждой ступени раствор последовательно сначала проходит через катионит в Н-форме, а затем через анионит в ОН-форме. При этом из раствора извлекаются катионы и анионы.

Одноступенчатая схема частичного обессоливания, включающая фильтры с сильнокислотным катионитом и сильноосновным анионитом показана на рис. 2.25,а. Такая схема обеспечивает снижение солесодержания в 10-50 раз.

Емкость сильноосновного анионита по карбонат-ионам имеет невысокое значение, поэтому для повышения эффективности очистки из воды удаляют углекислоту, снижая тем самым количество образующихся карбонат и бикарбонат-ионов. Для удаления углекислоты вода, прошедшая катионит, имеющая кислую реакцию и содержащая углекислоту в виде свободной CO_2 , поступает в декарбонизатор. Одноступенчатая схема с декарбонизатором представлена на рис. 2.25,а. Обессоливание воды по одноступенчатой схеме неэкономично из-за необходимости отключения Н-катионитовых фильтров на регенерацию по проскоку натрия, что ведет к высоким удельным расходам кислоты и щелочи.

Таблица 2.6

Основные схемы обессоливания воды и технологии регенерации

№ п/п	Название процесса, схема	Качество очищенной воды	Тип ионитов, типы регенерации
1	Одноступенчатая схема частичного обессоливания	Общее солесодержание – до 2-10 мг/л	Сильнокислотный катионит – слабоосновной анионит. Прямоточная регенерация.
2	Двухступенчатое Н-катионирование-анионирование	Общее солесодержание – 1-3 мг/л; SiO_2 – 0,05-0,15	Сильнокислотный катионит – сильноосновной анионит. Прямоточная регенерация.

		мг/л	
3	Двухступенчатая схема обессоливания	Общее солесодержание – до 0,1-0,2 мг/л; SiO ₂ – 0,02-0,1 мг/л	Сильнокислотный катионит – слабоосновной анионит. Сильнокислотный катионит – сильноосновной анионит. Прямоточная регенерация.
4	Трехступенчатая схема обессоливания	Удельное сопротивление 18 МОм·см	Сильнокислотный катионит – слабоосновной анионит. Сильнокислотный катионит – сильноосновной анионит. Прямоточная регенерация.
5	Схема полного обессоливания с ФСД	То же	Те же
6	Схемы с последовательно установленными слабыми и сильными ионитами	То же	Сильнокислотный катионит – слабоосновной анионит. Сильнокислотный катионит – сильноосновной анионит – ФСД. Прямоточная регенерация.
7	Схемы с противоточной регенерацией	То же	Сильнокислотный катионит – сильноосновной анионит – ФСД. Прямоточная регенерация.
8	Схемы с последовательным использованием ионитов послойно с противоточной регенерацией	То же	Слабокислотный катионит – сильноосновной анионит. Слабокислотный катионит – сильноосновной анионит – ФСД. Прямоточная регенерация.

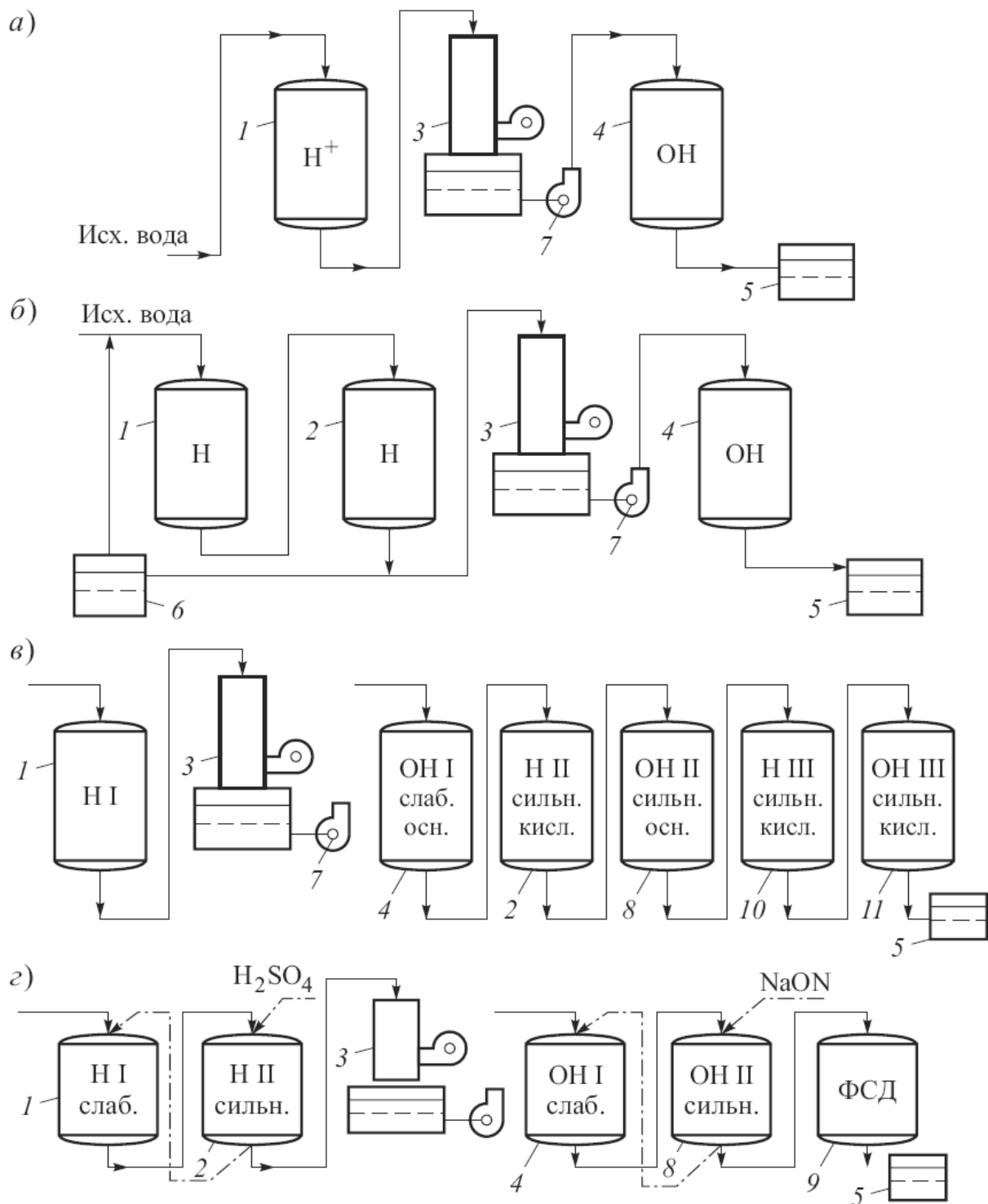


Рис. 2.25. Технологическая схема обессоливания воды:

а) схема частичного обессоливания в одну ступень; б) схема с двухступенчатым H -катионированием; в) трехступенчатая схема полного обессоливания воды; г) схема полного обессоливания с ФСД; д) схема с противоточной регенерацией и ФСД. 1 – H -катионитовый фильтр I ступени; 2 – H -катионитовый фильтр II ступени; 3 – дозатор; 4 – анионитовый фильтр; 5 – бак обессоленной воды; 6 – бак регенерационного раствора кислоты для фильтров I ступени; 7 – насос; 8 – анионитовый фильтр второй ступени; 9 – фильтр смешанного действия; 10 – H -катионитовый

фильтр III ступени; 11 – ОН-анионитовый фильтр III ступени; 12 – бак отмывочной воды анионитовых фильтров.

При использовании слабоосновного анионита несколько повышается обменная способность по анионам, но содержание растворенной кремнекислоты не снижается. Одноступенчатая схема позволяет снизить общее солесодержание до 2-10 мг/л.

При использовании двухступенчатого Н-катионирования удастся повысить экономичность схемы частичного обессоливания. Фильтр I ступени отключают на регенерацию при снижении кислотности фильтрата на 20%, а фильтр II ступени работает до проскока натрия в фильтрат. Анионитовый фильтр загружают сильноосновным анионитом, что позволяет снизить содержание кремниевой кислоты до 0,05-0,15 мг/л. Общее солесодержание воды снижается до 1-3 мг/л.

Для глубокого обессоливания воды используют две или три последовательные ступени. При использовании двух ступеней Н-катионирования, на первой ступени слабоосновного анионита и на второй ступени – сильноосновного анионита, общее солесодержание воды может быть снижена до 0,1-0,2 мг/л, в том числе содержание кремниевой кислоты до 0,02-0,1 мг/л. Двухступенчатая схема обессоливания показана на рис. 2.25,б. Полное обессоливание воды достигается на трехступенчатой установке, показанной на рис. 2.25,в.

Исходная вода проходит Н-катионитовый фильтр I ступени, загруженный сильноокислотным катионитом и поступает в дегазатор, в котором производится удаление образующейся углекислоты. Вода, освобожденная от растворенной углекислоты, собирается в бак и из него насосом подается в анионитовый фильтр I ступени, загруженный слабоосновным анионитом. Фильтрат анионитового фильтра I ступени поступает в Н-катионитовый фильтр второй ступени, загруженный сильноокислотным катионитом. Из катионитового фильтра II ступени вода подается в анионитовый фильтр II ступени, загруженный сильноосновным анионитом. Этот фильтр предназначен для

удаления из частично обессоленной на I ступени воды растворенной кремниевой кислоты. Сильноосновный анионит в фильтре II ступени регенерирует раствором едкого натра – сначала 2-3%, затем 0,2-0,3%.

Фильтр III ступени Н-катионирования служит для удаления из воды остаточных количеств натрия, который может попасть в воду при недостаточно полной отмывке слабоосновного анионита после регенерации.

Н-катионитовый фильтр III ступени регенерирует 1-2%-ным раствором серной кислоты. Наличие в Н-катионитового фильтра III ступени позволяет уменьшить расход обессоленной воды на отмывку анионитового фильтра II ступени и повысить экономичность работы всей установки.

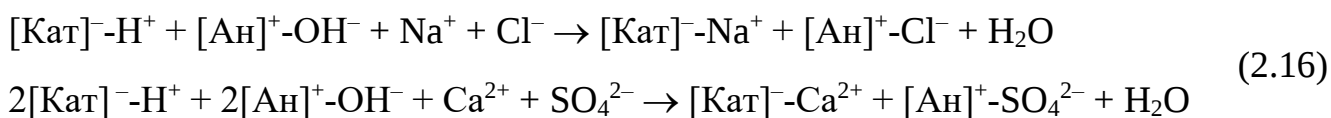
Фильтр III ступени анионирования предназначен для удаления из воды продуктов растворения и разрушения катионитов, а также для повышения степени использования анионита фильтров II ступени, которые при наличии анионитовых фильтров III ступени можно выключать на регенерацию не по проскоку в фильтрат кремниевой кислоты, а позднее, после достижения ее концентрации в фильтрате значения 0,1-0,2 мг/л.

Регенерация анионитовых фильтров III ступени производится водным раствором аммиака (2-4%), т.к. при регенерации их раствором едкого натра существует опасность попадания натрия в обессоленную воду из отмывочной воды в начале фильтроцикла.

Трехступенчатая схема ионитового обессоливания позволяет снизить общее солесодержание воды со 100-500 мг/л до 0,05-0,1 мг/л, в том числе кремниевой кислоты до 0,02-0,05 мг/л.

Вместо H^+ и OH^- -фильтров III ступени в схемах для полного обессоливания воды может быть применен фильтр со смешанной загрузкой из катионита и анионита (фильтр смешанного действия). Применение смешанного слоя ионитов обеспечивает более высокий эффект обессоливания, чем при отдельной обработке (рис. 2.25,г).

В слое зерен ионитов протекают необратимые реакции:



При этом процессе отсутствует противоионный эффект и из воды при проходе через слой смеси ионитов извлекаются все содержащиеся в воде ионы. Благодаря высокому эффекту обессоливания достигается работа фильтра смешанного действия при высоких скоростях потока. Схема устройства и работы фильтра смешанного действия (ФСД) показана на рис. 2.26. Фильтр смешанного действия отличается от обычного катионитового фильтра наличием на дне системы подачи сжатого воздуха (для смешивания ионитов) и дополнительной распределительной системы для подачи регенерационного раствора кислоты внутрь слоя загрузки на границе раздела катионита и анионита. В фильтр смешанного действия сначала загружают катионит. Толщину слоя катионита принимают такой, чтобы распределительная система, располагаемая в загрузке, была покрыта тонким слоем катионита. Поверх катионита загружают слой анионита. Катионит и анионит в фильтре перемешивают с помощью подачи в нижнюю распределительную систему сжатого воздуха.

После насыщения ионитов содержащимися в воде анионами и катионами фильтр регенерирует. Перед проведением процесса регенерации смесь ионитов необходимо разделить на слои катионита и анионита. Разделение ионитов производится гидродинамическим методом.

Катионит и анионит имеют, как правило, некоторое различие в плотности. Плотность гранул стандартного катионита КУ-2-8 составляет 1,18-1,23 г/мл. Плотность анионита АВ-17-8 равна 1,06-1,09 г/мл. При этом зерна катионита должны иметь несколько больший размер, чем зерна анионита, благодаря чему возрастает эффективность разделения смол. Для эффективного разделения гранулы (зерна) ионитов должны быть одинакового размера. Современные производители ионообменных смол (фирмы “Dow Chemical”, “Purolite”, “Bayer”, “Rohm and Haas”) выпускают монодисперсные иониты с гранулами

сферической формы, специально подобранные и отсортированные по плотности и размеру.

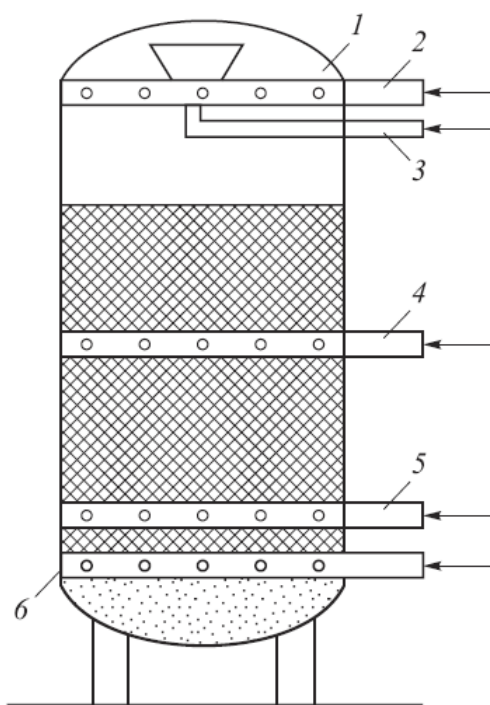


Рис. 2.26. Устройство фильтра смешанного действия:

1 – корпус фильтра; 2 – распределительная система раствора щелочи; 3 – трубопровод обессоливаемой воды; 4 – распределительная система раствора кислоты; 5 – распределительная система сжатого воздуха; 6 – дренажная система

Разделение катионита и анионита для их регенерации достигается путем их взрыхления (подачи воды в нижнюю распределительную систему фильтра). Интенсивность подачи воды составляет 6-8 л/м²сек, что обеспечивает создание псевдоожиженного слоя. При медленном снижении скорости подачи воды на взрыхление вначале оседают более тяжелые и крупные частицы катионита, а затем более мелкие зерна анионита. По мере износа и разрушения частиц ионитов эффективность их разделения падает, что ухудшает регенерацию и приводит к снижению качества обессоленной воды. При регенерации фильтра смешанного действия сначала через верхнюю распределительную систему подают раствор едкого натра, который проходит через слой анионита, затем слой катионита и выводится из фильтра. Интенсивность подачи едкого натра

составляет 70-90 г/г-экв рабочей обменной емкости. Немедленно после пропуска раствора щелочи производят отмывку анионита обессоленной водой с подачей ее сверху вниз. Количество отмывочной воды составляет 6-8 м³ на 1 м³ анионита. После проведения отмывки ионита скорость подачи отмывочной воды снижают до значения 3-5 м/г и начинают подачу в фильтр через среднюю распределительную систему, расположенную над слоем катионита, раствора кислоты. Используют 3%-ный раствор серной кислоты или 5%-ный раствор соляной кислоты. Удельный расход кислоты на регенерацию катионита принимают из расчета 200-250 г серной кислоты на 1 г-экв рабочей обменной способности катионита. После пропуска всего раствора кислоты продолжают отмывку фильтра до исчезновения в промывной воде сульфат-ионов, а затем перемешивают катионит и анионит сжатым воздухом.

Фильтры смешанного действия серийно выпускаются Таганрогским заводом «Красный котельщик» диаметром 2,0 и 2,6 м. Они изготавливаются с внутренней и выносной регенерацией.

Эксплуатация ФСД состоит из следующих операций:

- работа фильтра в режиме обессоливания;
- регенерация состоит из ряда операций:
- взрыхление и разделение (стратификация) слоя;
- подача раствора едкого натра через верхнюю распределительную систему;
- отмывка анионита обессоленной водой;
- подача через среднюю распределительную систему регенерационного раствора кислоты.

При толщине слоя ионитов в фильтрах смешанного действия 2-2,5 м скорость фильтрования может достигать 30-50 м/ч. Фильтры смешанного действия позволяют получить более глубоко обессоленную воду, однако расходы реагентов на их регенерацию на 50-60% превосходят их расходы при регенерации отдельных катионитовых и анионитовых фильтров.

В ряде случаев при эксплуатации фильтров смешанного действия используют внешнюю (выносную) регенерацию. При выносной регенерации обессоливание производится в одном фильтре, а разделение и регенерация ионитов в другом аппарате, специально предназначенном для проведения соответствующих операций. Такой подход обеспечивает более высокие степени регенерации и, соответственно, глубину обессоливания.

Из-за сложности операций разделения смеси ионитов и их регенерации фильтры смешанного действия применяют в основном для глубокого дообессоливания воды в тех случаях, когда регенерация применяется редко. Наиболее широко такие фильтры применяются в схемах для получения сверхчистой воды с сопротивлением 18 МОм/см в микроэлектронике, а также в теплоэнергетике при производстве воды для котлов высокого давления.

В трехступенчатых схемах обессоливания для экономии отмывочной воды и реагентов отработанные регенерационные растворы и промывные воды фильтров II и III ступени используют для взрыхления и регенерации фильтров I ступени, для чего предусматривают соответствующие трубопроводы и баки.

За рубежом широко распространены схемы с последовательно установленными слабо и сильнодиссоциирующими ионитами (рис. 2.25,г).

При последовательном расположении фильтров со слабокислотным катионитом и сильнокислотным катионитом эффективнее используется их обменная емкость. Как уже говорилось, слабокислотные катиониты имеют очень большую обменную емкость (около 2000 мг-экв/л), поэтому на слабом катионите полностью задерживаются ионы жесткости и частично Na^+ , а на сильнокислотном – оставшиеся следовые количества катионов. При регенерации раствор кислоты (берущийся с избытком) пропускают через фильтр с сильнокислотным катионитом, после чего регенерат (отработанный регенерирующий раствор) используется для регенерации фильтра со слабокислотным катионитом. Слабоосновные аниониты также имеют высокую обменную емкость, но не удаляют анионы слабых кислот (кремневой,

угольный). Поэтому, установив последовательно фильтры со слабо- и сильноосновным анионитом, удастся наиболее эффективно реализовать их свойства. На слабом анионите удаляется основная масса анионов, а на сильном извлекаются ставшиеся анионы. В результате обеспечивается высокое значение рабочей обменной емкости при заданном качестве обессоленной воды.

При регенерации анионитовых фильтров раствор щелочи вначале пропускается через фильтр с сильноосновным анионитом, после чего регенерат, содержащий избыток щелочи, подается на фильтр со слабоосновным анионитом. Как уже отмечалось выше, для регенерации слабоосновного анионита используются стехиометрические количества щелочи. В результате щелочь используется наиболее полно. Описанные схемы позволяют сократить габариты фильтров, количества используемых анионитов и резко уменьшить расходы реагентов для регенерации.

Современные схемы глубокого обессоливания воды (для ТЭЦ) используют технологии противоточной регенерации. Как уже говорилось, при использовании противоточной регенерации удастся добиться большей глубины обессоливания и экономии регенерационных растворов. При этом удастся достигнуть высокого качества (снижения солесодержания до 0,1-0,2 мг/л) обессоленной воды не в две, а в одну ступень. Поэтому вместо описанной выше «классической» трехступенчатой схемы обессоливания (две ступени и ФСД) используются две ступени обессоливания (рис. 2.25,д): фильтр с сильноокислотным катионитом, фильтр с сильноосновным анионитом и ФСД. Применение технологии противоточной регенерации особенно успешно осуществляется при реконструкции цехов химводоподготовки ТЭЦ, когда необходимо уменьшить количество фильтров и освободить площади, либо удвоить производительность станции при том же количестве фильтров.

Применяемые при глубоком обессоливании воды сильноосновные аниониты сорбируют из воды органические вещества, в результате чего обменная емкость поглощения снижается. Процесс сорбции анионитом

органики носит практически необратимый характер. Поэтому для защиты сильноосновных анионитов от загрязнения органическими веществами вода перед обессоливанием должна проходить тщательную предочистку. Обычно это достигается с использованием коагуляционных методов. Во многих случаях такая обработка воды не позволяет достичь требуемых значений окисляемости на уровне 2-3 мг/л. Для эффективного снижения окисляемости используют также каталитическое окисление органических веществ и их сорбцию активным углем, применение мембранной очистки (систем ультрафильтрации, нанофильтрации).

При высоком содержании органических веществ используются специальные аниониты – органопоглотители («скавенджеры»), способные к обратимой сорбции органических веществ. Регенерация таких анионитов производится 10%-ным раствором поваренной соли. Слабоосновные аниониты значительно более устойчивы к действию природной органики.

Установки ионнообменного обессоливания оборудуют кислотным хозяйством обеспечивающим месячный запас реагента. В связи с тем, что железнодорожные цистерны, в которых поставляют серную кислоту, имеют грузоподъемность до 50-60 т (вместимость баков при плотности раствора 1,8 г/см³ составляет 28-33 м³), объем хранилищ должен обеспечивать их опорожнение. Кислотное хозяйство состоит из цистерн-хранилищ, мерников для концентрированной кислоты и вакуум-насосов (рис 2.16).

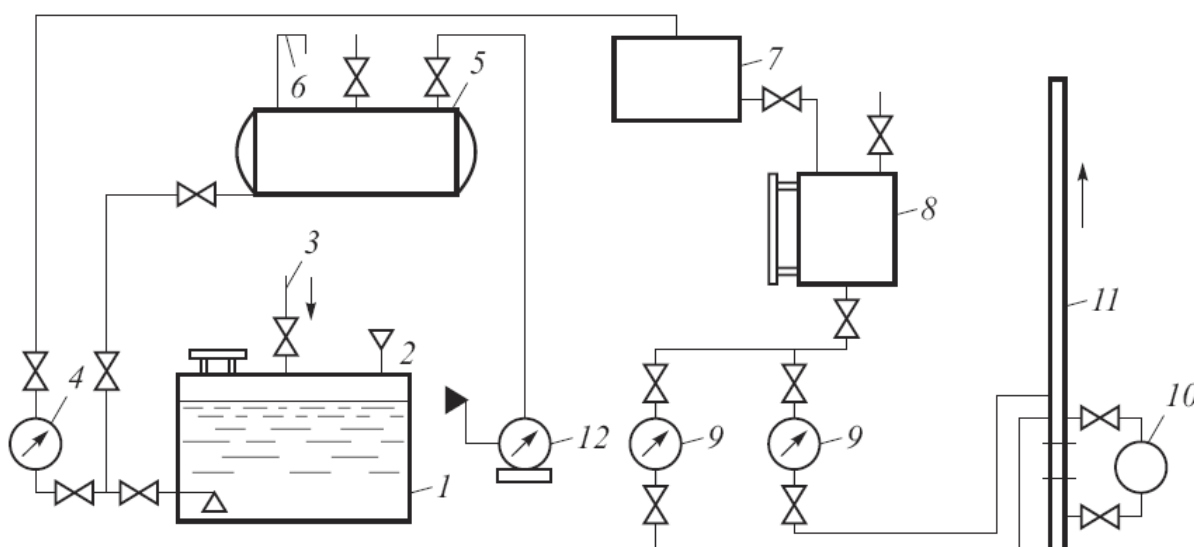


Рис. 2.27. Схема едконатрового хозяйства:

1 – бак для растворения твердого гидроксида натрия и приема его раствора; 2 – воронка для слива раствора гидроксида натрия из контейнера; 3 – подвод воды; 4 – насос; 5 – цистерна концентрированного раствора гидроксида натрия; 6 – сифон для заполнения цистерны; 7 – расходный бак; 8 – мерник; 9 – насос-дозатор; 10 – расходомер; 11 – трубопровод с водой, в котором образуется раствор гидроксида натрия заданной концентрации; 12 – вакуум-насос

Особенностью установок с анионитовыми фильтрами является необходимость аппаратуры для приготовления растворов кальцинированной соды, гидрокарбоната натрия и едкого натра. Возможно использование отработанных растворов едкого натра после регенерации анионитовых фильтров II ступени для регенерации слоя анионита на фильтрах I ступени. При этом регенерирующий агент будет один – гидроксид натрия. Схема едконатрового хозяйства показана на рис. 2.27.

2.2.4. Обессоливание обратным осмосом

Первоначально процесс обратного осмоса разрабатывался для опреснения подземных и морских вод. Отличительной чертой процесса являлись высокие значения приложенных давлений – 50-60 бар, что вызывало высокую стоимость насосного оборудования, трубопроводов и арматуры и др. Прогресс в области производства мембран привел к созданию низконапорных мембран,

работающих под низким давлением. Снижение величин рабочих давлений привело к значительному удешевлению и упрощению систем обратного осмоса.

В настоящее время обратноосмотические установки используются для обессоливания воды, вытесняя традиционные методы – ионный обмен, дистилляцию. Невысокая стоимость и простота мембранных систем сделали метод обратного осмоса конкурентоспособным с традиционными установками водоподготовки. Высокая эффективность в задержании органических веществ (образующих цветность воды) бактерий, вирусов, жесткости железа делает его перспективным для подготовки питьевой и технической воды.

Широко распространен процесс, получивший название «наночистки» – разновидность обратного осмоса, в которых используются поры более крупного размера. Такие поры задерживают «крупные» многовалентные ионы железа, кальция, стронция, хрома, сульфат-ионы и т.д. на 80-90%, но слабо задерживают одновалентные ионы натрия, хлорида, бикарбоната – на 30-50%.

При проведении процесса обратного осмоса растворенные вещества (ионы солей) задерживаются мембраной, и далее с частью потока исходной воды сбрасываются (концентрат), а молекулы воды проникают через мембрану (фильтрат). Молекулы растворенной соли накапливаются у поверхности мембраны, где её концентрация постепенно возрастает. Однако повышение концентрации соли у поверхности вызывает диффузию ионов от поверхности в объем раствора. Таким образом, в системе устанавливается стационарное состояние. Конвективный поток растворенной соли к мембране уравнивается суммой потоков через мембрану и от поверхности мембраны в объем раствора. В результате, вблизи поверхности мембраны образуется пограничный слой, в котором значение концентрации соли увеличивается по мере приближения к мембране. Этот эффект называется концентрационной поляризацией и является одной из причин, вызывающей выпадение (кристаллизацию) малорастворимых солей на поверхности мембраны (рис. 2.28).

Предположим, что на расстоянии d от поверхности мембраны концентрация растворного вещества равна C_0 и имеет то же значение, что и концентрация в объеме потока воды благодаря полному смешению. Вблизи поверхности мембраны образуется пограничный слой, в котором концентрация увеличивается по мере приближения к мембране, достигая максимального значения C_m у ее поверхности.

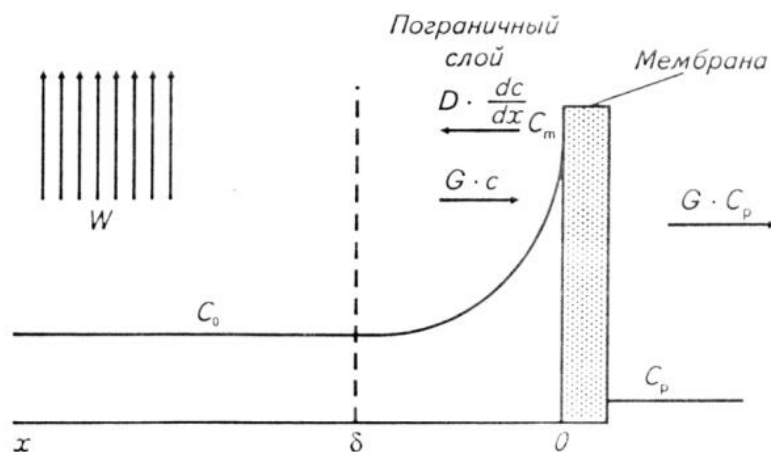


Рис. 2.28. Распределение задерживаемого мембраной вещества у поверхности мембраны.

Конвективный поток соли к поверхности мембраны обозначается как $J \cdot C$, где C – концентрация соли, г/л, J – удельная проницаемость мембраны, л/с·м².

Поскольку часть соли проходит через мембрану, поток через мембрану составляет $J \cdot C_\phi$, где C_ϕ – концентрация соли в фильтрате, г/л.

Накопление солей у поверхности мембраны вызывает диффузионный поток в обратном направлении – от мембраны в раствор. Таким образом, устанавливается стационарное состояние, равновесие, при котором поток растворенного вещества к мембране равняется сумме двух потоков: потока растворенного вещества через мембрану и диффузионного потока, определяемого законом Фика, т.е.:

$$J \cdot c + D \frac{dc}{dx} = J C_\phi, \quad (2.17)$$

где D – коэффициент диффузии, C – концентрации соли в потоке, изменяющиеся от C_ϕ до C_m .

При $x = 0$ $c = C_m$

При $x = \delta$ (на расстоянии δ от поверхности мембраны) $C = C_\phi$

Разделяя переменные и интегрируя уравнение (1) получаем

$$\int_{C_m}^{C_\phi} D \frac{dc}{dx} = \int J (C_\phi - C) \quad (2.18)$$

или

$$\ln \frac{C_m - C_\phi}{C_\phi - C_\phi} = \left(\frac{J \cdot \delta}{D} \right) \quad (2.19)$$

или

$$\frac{C_m - C_p}{C_\phi - C_p} = \exp \left(\frac{J \cdot \delta}{D} \right) \quad (2.20)$$

Отношение коэффициента диффузии к толщине пограничного слоя δ называется коэффициентом массопереноса k :

$$k = \frac{D}{\delta} \quad (2.21)$$

При условии, что растворенная соль полностью задерживается мембраной ($C_\phi = 0$), уравнение (2.20) упрощается и представляется в виде:

$$\frac{C_m}{C_\phi} = \exp \left(\frac{J}{k} \right) \quad (2.22)$$

Уравнение (2.22) является основным уравнением концентрационной поляризации, отражающим природу концентрационной поляризации: гидродинамика в аппарате определяется коэффициентом k , свойства мембран – величиной J .

Коэффициент массопереноса k зависит от гидродинамических условий (скорости потока на входе в мембрану V , коэффициента диффузии растворенного вещества D , вязкости, плотности), а также размеров и формы модуля.

Уровень концентрационной поляризации можно снизить двумя путями: изменить величину потока J и коэффициента массопереноса k . Коэффициент диффузии увеличить нельзя, но можно увеличить скорость движения раствора вдоль мембраны, за счет изменения формы и размеров модуля, снижая длину модуля или уменьшая сечение.

Кроме увеличения скорости течения для улучшения массопереноса можно «разрушить» пограничные слои с помощью «турбулизаторов» – сетчатых вставок в канал.

Поток воды через мембрану выражается уравнением:

$$J_w = A(\Delta P - \Delta \pi), \quad (2.23)$$

где A – константа проницаемости, P – давление воды над мембраной, $\Delta \pi$ – величина осмотического давления.

Поток воды через мембрану зависит от эффективной разницы давлений.

При стационарном режиме уравнения баланса масс можно записать в виде:

по воде:

$$Q_u = Q_\phi + Q_{\text{конц}} \quad (2.24)$$

по солям:

$$Q_u \cdot C_u = Q_\phi \cdot C_\phi + Q_{\text{конц}} C_{\text{конц}} \quad (2.25)$$

$$C_{\text{конц}} = \frac{C_u - \alpha C_\phi}{1 - \alpha} \quad (2.26)$$

где $\alpha = \frac{Q_\phi}{Q_u}$ – выход по фильтрату, т.е. доля, которую составляет фильтрат от

всей воды, поступающей в установку (рис. 2.29).

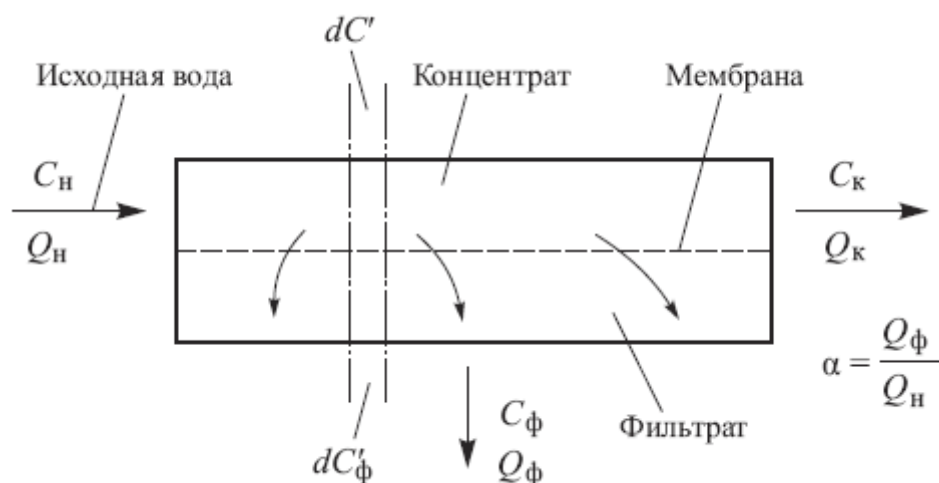


Рис. 2.29. Увеличение концентраций солей в воде, проходящей через мембранный аппарат.

Интегрирование от 0 до S и от C_u до C_k дает:

Из уравнения (2.26) путем записи в дифференциальной форме, разделения переменных и интегрированных для изменения концентрации солей в исходной воде от C_u до C_k и величины выхода фильтрата α от 0 до α получим:

$$C_k = C_u (1 - \alpha)^{-R} \quad (2.27)$$

и

$$C_\phi = C_u (1 - R)(1 - \alpha)^{-R} \quad (2.28)$$

Уравнение показывает, как концентрация солей в концентрате и фильтрате зависят от выбранной величины α и величины R .

Широко известным материалом мембран для обратного осмоса являются эфиры целлюлозы, в частности, диацетат целлюлозы и триацетат целлюлозы.

Сложные эфиры целлюлозы подвержены разложению (деструкции) под действием высокой температуры, а также от химического или биологического воздействия. Оптимальный диапазон значений pH для работы ацетатных мембран составляет 4-6,5. При высоких значениях pH (в щелочных условиях) происходит гидролиз мембран. Кроме того, биологические отложения на ацетатных мембранах оказывают разрушающее действие. Вследствие этого

ацетатные мембраны в настоящее время имеют ограниченное применение и вытеснены другими полимерами, более стойкими в водной среде.

Ароматические полиамиды имеют преимущества в качестве мембранных материалов из-за высокой механической, химической, термической и гидролитической устойчивости, а также их свойств по проницаемости и селективности.

Различают два основных типа мембран: ассиметричные мембраны и композитные мембраны. Ассиметричные мембраны представляют собой пленку, нанесенную методом инверсии фаз (фазовым разделением) на подложку. Размер пор уменьшается от подложки к рабочей поверхности мембраны, обращенной к обрабатываемой воде.

Плотные ассиметричные мембраны не позволяют добиться высоких значений производительности. Толщина мембраны (20-2000 мкм) оказывает существенное гидравлическое сопротивление. Более того, при увеличении величины рабочего давления ассиметричные мембраны сжимаются, что приводит к снижению производительности.

Увеличение производительности таких мембран может быть достигнуто с помощью уменьшения эффективной толщины мембраны. Однако тонкая пленка (толщиной 0,1–1 мкм) не обладает механической прочностью. Поэтому разработаны «композитные» мембраны, представляющую собой тонкую селективную пленку (селективный слой), нанесенную на пористую подложку обычно из того же материала. Для нанесения ультратонкого слоя используется метод межфазной полимеризации (поликонденсации).

Мембраны помещают в аппарат, работающий под давлением.

Основными компонентами аппарата являются:

1. Мембрана.
2. Поддерживающий слой (дренаж) для сбора и отвода очищенной воды.

3. Сепаратор-турбулизатор, помещаемый в канал для образования турбулизации потока.
4. Устройства для ввода исходной воды, отвода концентрата и очищенной воды.
5. Напорный корпус.

Аппараты типа *фильтр-пресс* используют плоские листовые мембраны и представляют собой первые конструкции обратноосмотических аппаратов. Сборка фильтр-прессного аппарата состоит из нескольких плоских дренажных плит, на которые укладываются плоские мембраны, и специальных рамок, помещаемых между дренажными плитами. Рамка, помещенная между двумя мембранами, образует канал. В рамках сделаны отверстия и протоки для распределения исходной воды и сбора фильтрата. Вся конструкция собирается из чередующихся дренажных плит и рамок, которые прижимаются друг к другу с помощью стяжных болтов и фланцевых плит.

В аппаратах круглой формы (дискового типа) стяжной болт располагается в центре круга. Исходная вода движется радиально из центра к периферии круглой камеры, выходя наружу. Вся сборка помещается в напорный корпус цилиндрической формы.

Такие аппараты очень дороги, что ограничивает их применение в основном в системах очистки обратного осмоса малой производительности, а чаще – в системах ультрафильтрации.

Рулонные элементы являются в настоящее время наиболее распространенной конструкцией. За многие годы конструкция многократно совершенствовалась с целью улучшить геометрию каналов и потокораспределение, испытывались новые сепараторы-турбулизаторы, дренажные материалы, клеи и т.д.

Рулонные элементы изготавливаются из плоских мембран, которые оборачиваются вокруг перфорированной трубки для сбора очищенной воды. Мембраны склеиваются в «пакеты», которые приклеиваются одной кромкой к

перфорированной фильтратоотводящей трубке и оборачиваются вокруг нее. Каждый пакет состоит из двух листов мембран, между которыми проложена специальная дренажная ткань для сбора и отвода фильтрата, а края пакета проклеены специальными эпоксидным клеем. Клей наносится по краям мембран в процессе закручивания «пакетов» вокруг фильтратоотводящей трубки. Между «пакетами» прокладывается сепараторная сетка, которая обеспечивает прохождение потока исходного раствора между мембранами. Таким образом, канал для прохождения обессоливаемой воды, образуется сепараторной сеткой, проложенной между двумя мембранами, играющей роль также и турбулизатора потока (рис. 2.30).

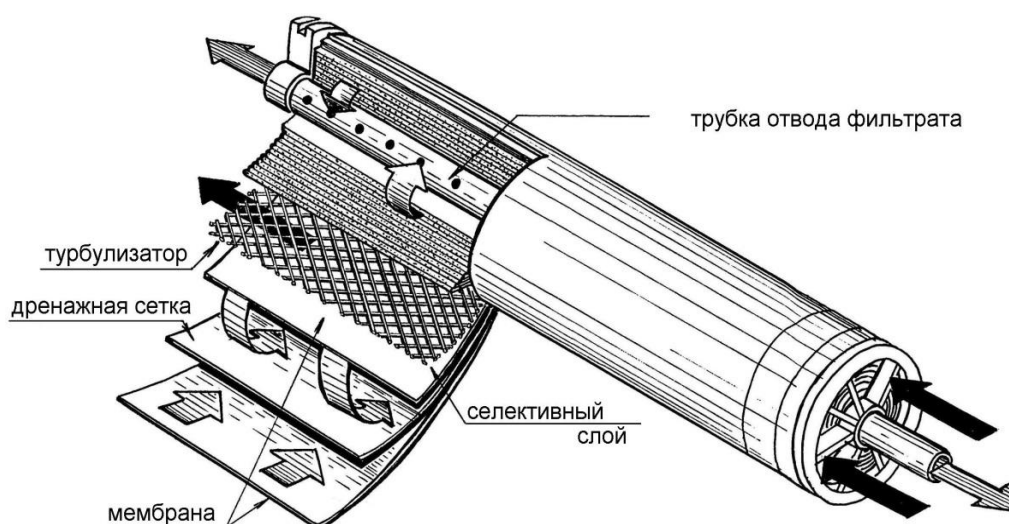


Рис. 2.30. Устройство рулонного фильтрующего элемента.

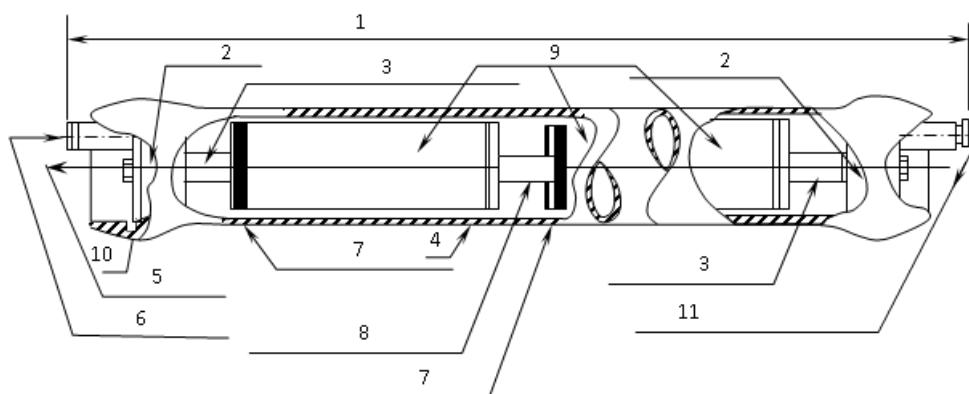


Рис. 2.31. Устройство мембранного аппарата: рулонный элемент, помещенный в корпус.

1 – длина корпуса; 2 – крышка; 3 – адаптер; 4 – корпус; 5 – выход фильтрата; 6 – патрубок подачи исходной воды; 7 – «ласточкин хвост»; 8 – соединительная муфта; 9 – рулонные мембранные элементы; 10 – «канавка» для стопорного кольца; 11 – патрубок выхода концентрата

Обессоленная вода проходит через мембрану внутрь «пакета» и, проходя по дренажному слою, по спирали проходит к центральной фильтратоотводящей трубке, собирается в ней через перфорированные отверстия и выводится из аппарата.

Рулонные элементы помещают в напорные корпуса, от одного до семи элементов друг за другом. Существуют разнообразные конструкции для крепления элементов в напорном корпусе (рис. 2.31). Каждый отдельный элемент обычно рекомендуется помещать в корпусе установки таким образом, чтобы соотношение количества обессоленной воды, прошедшей через мембраны (фильтрата) и исходной воды, поступающей в аппарат, в единицу времени было 1:10. Это определяется гидродинамическими характеристиками мембран и явлением концентрационной поляризации, уровень который должен быть сведен к минимуму. Поэтому, для того, чтобы в промышленных установках обеспечить соотношение расходов фильтрата и концентрата на уровне 1:1,5 или 1:2, мембранные аппараты komponуются таким образом, что путь воды составляет до 18 м. Такое подключение называется «елочкой», т.к. по мере увеличения расхода фильтрата уменьшается число параллельно работающих аппаратов (рис. 2.32).

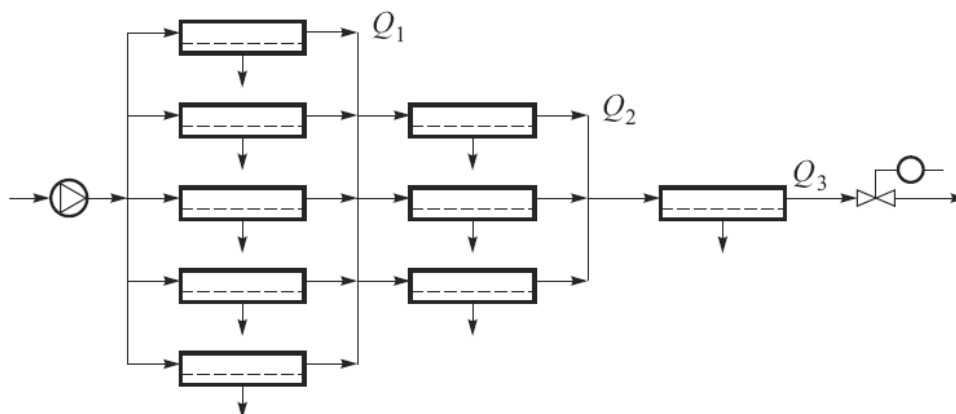


Рис. 2.32. Коническая каскадная однопроходная схема («елочка»).

Рулонные элементы оказались наиболее удобными в эксплуатации. Элементы легко подвергать химической регенерации (промывке), легко производить замену элементов в установке. Конструкции и размеры элементов унифицированы, поэтому возможно покупать элементы одинаковых типоразмеров от различных производителей.

В мембранных аппаратах могут также использоваться мембраны в виде *полых волокон* (трубчатой формы). Волокна изготавливаются с внутренним диаметром от 19 до 70 мкм и наружным от 85 до 160 мкм. Исходная вода фильтруется снаружи внутрь волокна. Располагают полые волокна в аппарате таким образом, чтобы все они располагались параллельно перфорированной распределительной трубке, проходящей по оси аппарата (рис. 2.32).

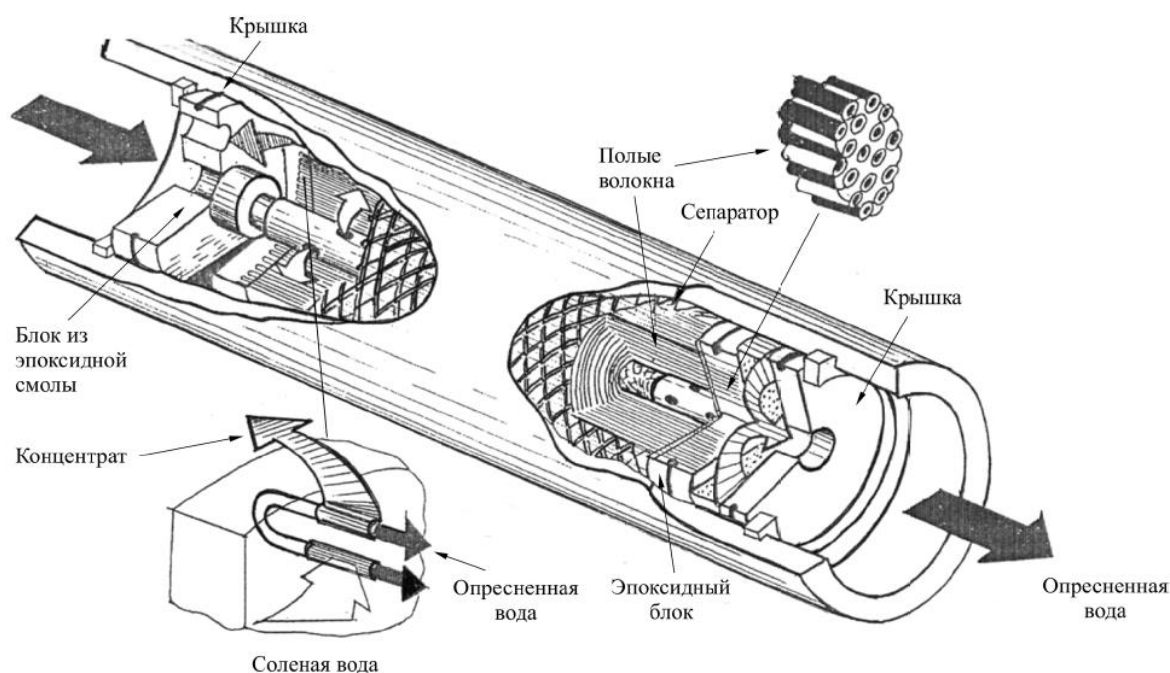


Рис. 2.32. Устройство аппарата с мембранами в виде полого волокна.

Концы волокон с обеих сторон аппарата заключаются в «монолитные блоки» из эпоксидной смолы. С одной стороны бок делают «глухим», с другой

стороны волокна проходят «насквозь» через блок. После отверждения блока концы волокон обрезают. Таким образом, фильтрат отводится с торца аппарата.

Исходная вода поступает в перфорированную трубку по оси аппарата и радиально движется от центра к краям аппарата. Концентрат отводится через зазор между «глухим» блоком и корпусом, а фильтрат через торец фильтратоотводящего блока собирается в пористом фильтратосборном блоке и через фильтратоотводящую трубку выводится из аппарата.

Аппарат помещается в напорный трубчатый корпус, с торцов закрытый круглыми крышками с уплотнительными манжетами. Исходная вода, фильтрат и концентрат подаются через специальные патрубки, соединенные с торцевыми крышками.

В последнее время аппараты обратного осмоса с полым волокном полностью вытеснены рулонными элементами. Однако конструкция аппаратов с полыми волокнами большого диаметра (так называемыми капиллярными) в настоящее время широко и успешно применяется в ультрафильтрации благодаря возможности проведения гидравлических промывок.

С первых шагов внедрения мембранных установок обнаружилась проблема образования на мембранах осадков различных веществ, содержащихся в обрабатываемой воде. Поэтому необходимым условием надежной работы любой мембраной установки является тщательная предочистка, позволяющая предотвратить осадкообразование на мембранах.

Основными видами осадков на мембранах являются:

- осадки малорастворимых в воде солей (карбонат кальция, сульфат кальция, силикат кальция);
- осадки взвешенных и коллоидных веществ (гидроокись железа, частицы глины, ила, коллоидная гидроокись алюминия);
- осадки биологического происхождения;
- осадки высокомолекулярных органических веществ (гуминовых и фульвокислот, образующих цветность).

Кроме того, на композитные и полиамидные мембраны разрушительное действие оказывает свободный хлор.

Основной причиной образования осадков малорастворимых солей в аппаратах обратного осмоса является пересыщение раствора, то есть состояние системы, при котором содержание ионов, образующих соль, превышает пределы растворимости. Пересыщение раствора в процессе обратного осмоса возникает в связи с явлением концентрационной поляризации у поверхности мембраны, а также благодаря концентрированию раствора в аппаратах.

В основе механизмов образования коллоидных и органических осадков на мембранах лежат механизмы адгезии частиц к мембране, коагуляции и осаждения.

Осадкообразование на мембранах приводит к уменьшению производительности мембран и потере ее селективных свойств. При образовании на поверхности мембраны осадка толщина пограничного слоя увеличивается на высоту слоя осадка, поэтому перенос соли от поверхности мембраны в ядро потока за счет диффузии в таких условиях значительно затрудняется, по сравнению с режимом без осадка. Уменьшение селективности происходит за счет увеличения концентрации у поверхности мембраны вследствие развития концентрационной поляризации. Увеличение концентрации солей у поверхности мембраны ведет к снижению ее производительности за счет увеличения осмотического давления раствора.

Для удаления загрязнений из воды или предотвращения их образования на мембранах используется ряд технологических процессов и соответствующих аппаратов (сооружений).

При высоких значениях мутности и цветности для эффективного ведения процесса коагуляции используют осветлители с взвешенным осадком. Обязательным требованием предочистки является прохождение уже очищенной воды через патронные фильтры с размером пор 5 микрон для улавливания крупных частиц перед поступлением воды в насосы высокого

давления и далее – в мембранные аппараты. Для предварительной очистки поверхностных вод перед подачей на установки обратного осмоса в современных технологических схемах используются системы ультрафильтрации.

Из солей, плохо растворимых в воде, наиболее для мембран опасны (в порядке возрастания): карбонат кальция, сульфат кальция, силикатные осадки, сульфат бария, сульфат стронция, фторид кальция.

Предотвращение образования карбоната кальция на мембранах может достигаться дозированием кислоты в исходную воду или умягчением исходной воды. В настоящее время проблема осадков карбоната и сульфата кальция чаще всего решается с помощью дозирования в исходную воду ингибиторов – присутствие которых в исходной воде замедляет процесс образования отложений. Ингибиторы дозируются в очень малых количествах – от 3 до 10 мг на 1 литр исходной воды, при этом дают очень высокий эффект замедления образования осадка. При этом срок непрерывной эксплуатации мембранных установок составляет 500 – 2000 часов. По истечении этого срока необходимо провести химическую регенерацию мембран, заключающуюся в растворении отложений специальными растворами. Основные распространенные классы ингибирующих веществ, это полифосфаты, полимеры на основе акриловой кислоты (полиакрилаты), поликарбоксилаты, фосфонаты (полимеры на основе фосфорной кислоты и ее солей). Смеси поликарбоксилатов и фосфонатов, а также сополимеры сульфоновой и акриловой кислоты.

Дизайн установки зависит от ее назначения и заданных параметров: производительности, выхода фильтрата, а так же типа аппаратов, и их конфигурации. Главной частью установки является мембранный модуль, представляющий собой один или несколько (до 7) рулонных элементов, помещенных в напорный корпус. Задача инженера – собрать модули таким образом, чтобы получить оптимальное распределение потоков,

соответствующее минимальному гидравлическому сопротивлению и минимальной степени концентрационной поляризации.

Распределение потоков в установке является важным фактором, определяющим надежность последующей эксплуатации. В установках обратного осмоса используются две базовые конфигурации потоков:

- 1) прямоточная система (2.34, а);
- 2) система с рециркуляцией (2.34, б).

В прямоточной системе очищаемая вода проходит через мембранные модули. По мере продвижения воды от входа к выходу из модуля расход транзитного потока концентрата уменьшается. Для того чтобы снизить опасность развития концентрационной поляризации, используется многоступенчатая схема подключения модулей «елочкой» (рис. 2.32). При такой конфигурации система спроектирована так, чтобы скорость потока в аппаратах была одинаковой.

В случае использования рециркуляционной системы, концентрат с заданным высоким расходом проходит через аппарат, и основная часть концентрата возвращается в голову установки, а часть концентрата идет на сброс. Схема с рециркуляцией обычно используется в небольших установках, состоящих из 1-2-х модулей, где невозможно организовать многоступенчатую прямоточную схему.

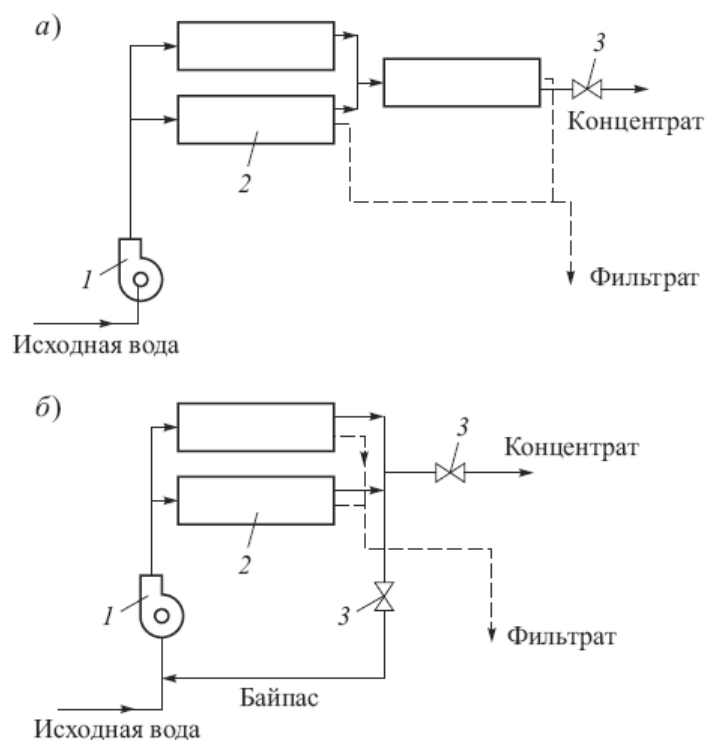


Рис. 2.34. Схемы работы обратноосмотических установок:

а – прямоточная; б – циркуляционная; 1 – насос; 2 – мембранный аппарат; 3 – регулирующий вентиль

Все крупные системы обратного осмоса (25-500 м³/ч) работают в соответствии с «прямоточной» схемой: исходная вода подается рабочим насосом высокого давления в установку, где разделяется на 2 потока – фильтрат и концентрат.

На рис. 2.35 представлена схема обратноосмотической установки, содержащая оборудование для предотвращения осадкообразования на мембранах (системы дозирования ингибиторов и моющий контур для растворения осадков). На рис. 2.36 показан внешний вид мембранного блока производительностью около 70-100 м³/ч.

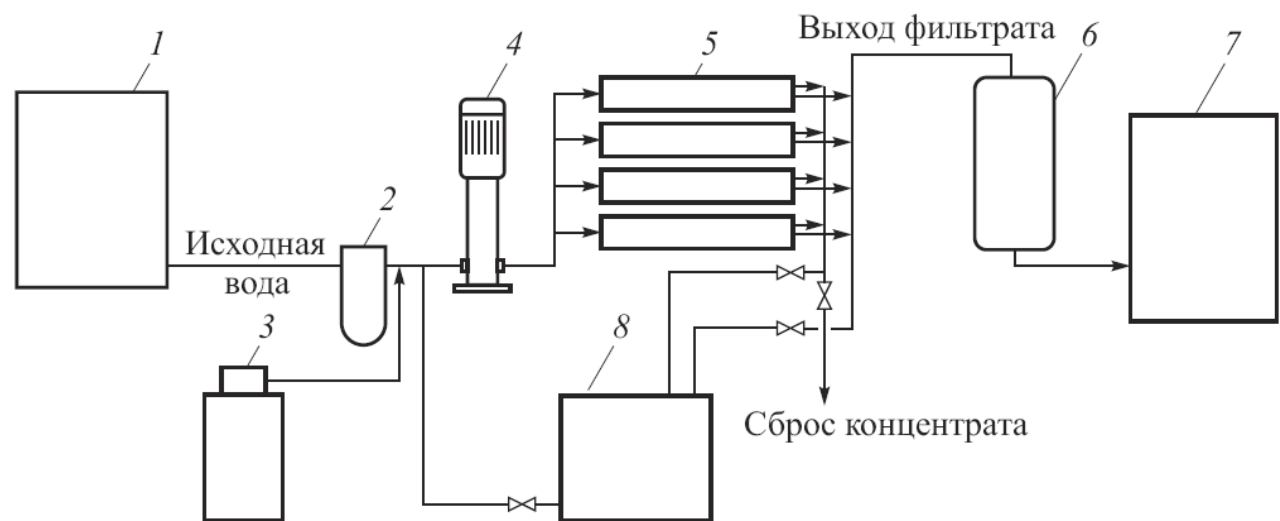


Рис. 2.35. Схема обратноосмотической установки для обессоливания воды:

1 - предочистка; 2 - патронный фильтр 100 мкм; 3 - дозирование ингибитора или кислоты; 4 - центробежный многоступенчатый насос; 5 - мембранный элемент; 6 - ионообменные фильтры доочистки; 7 - бак обессоленной воды; 8 - бак для химической промывки мембран.

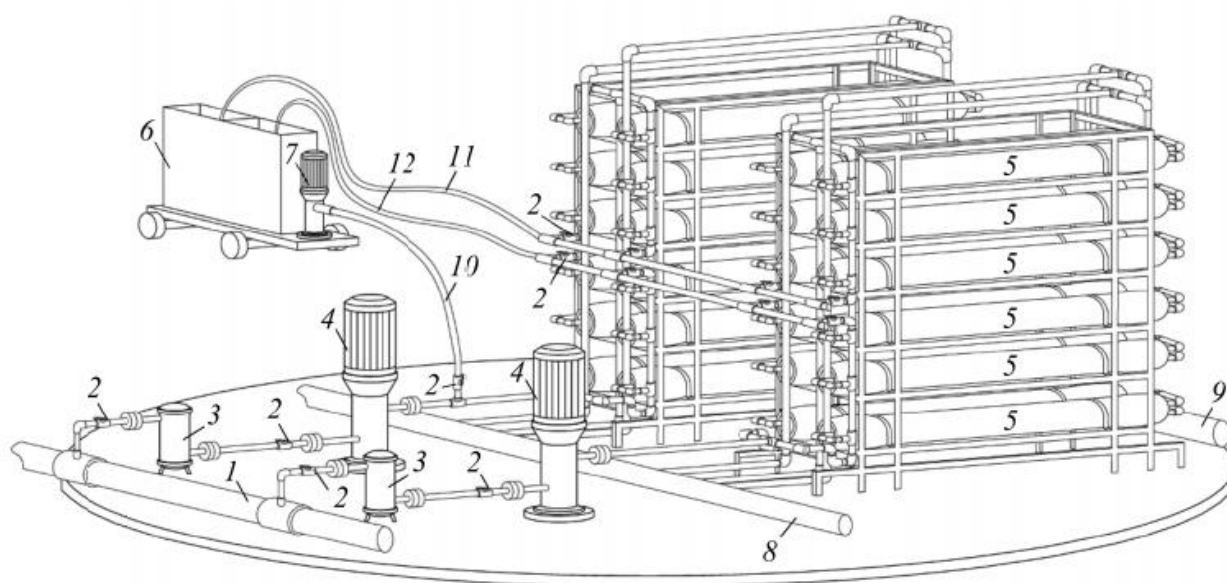


Рис. 2.36. Конструкция мембранной установки:

1 – подводящий трубопровод; 2 – шаровой кран; 3 – патронный фильтр; 4 – насос высокого давления; 5 – мембранный аппарат; 6 – бак промывки; 7 – промывной насос; 8 – трубопровод концентрата; 9 – трубопровод фильтрата; 10, 11, 12 – шланги для проведения промывки

2.2.5. Обессоливание электродиализом и электродеионизацией

Электродиализ

Электродиализ (ЭД) – метод электрохимического опреснения и обессоливания воды, движущей силой которого является электрический перенос ионов. Это хорошо промышленно развитый и изученный в отечественной практике метод для применения в опреснении подземных вод, получивший наибольшее развитие в нашей стране в 1960-80-х гг.

Количество получаемой опресненной воды, а также удаленной из воды соли пропорционально энергозатратам, поэтому энергопотребление – важный фактор, определяющий стоимость процесса.

Оптимальным принято считать применение электродиализа для опреснения подземных вод соледержащих от 500 до 10000 мг/л. Именно в этом диапазоне соледержаний он является конкурентоспособным с другими методами – обратным осмосом и дистилляцией.

Энергетические затраты на перенос ионов определяются законом Фарадея и составляют намного меньшие величины, чем затраты на изменение агрегатного состояния вещества, как в случае выпарки (дистилляции). Поэтому метод электродиализа считался в 1970-80-х гг. прошлого века особенно перспективным для применения в схемах опреснения и обессоливания воды, и даже в системах химводоочистки ТЭЦ. Однако появление и развитие метода обратного осмоса – более простого и экономически выгодного, практически вытеснило электродиализ из схем водоподготовки. И всё же в отечественной и мировой практике ЭД продолжает использоваться при подготовке (опреснении) воды с невысокими значениями соледержания (1-2 г/л) благодаря низким эксплуатационным затратам, надежности и простоте технологии.

В настоящее время большие перспективы приобретает новый электрохимический процесс – электродеионизация, или видоизмененный электродиализ. Камеры электродиализных аппаратов заполняются ионообменными смолами, регенерация которых происходит за счет электрического переноса ионов в электрическое поле. Такой процесс позволяет

получать сверхчистую воду, не используя ионитные фильтры смешанного действия (ФСД) и не тратя кислоту и щелочь на их регенерацию.

Принцип процесса электродиализа показан на рис. 2.37. Между катодом и анодом погруженными в водной раствор помещаются катионообменные и анионообменные мембраны. При наложении разности потенциалов, положительно заряженные ионы начинают двигаться к катоду, а отрицательно заряженные – к аноду. При этом катионы не могут проходить через положительно заряженную мембрану, а анионы – проходят свободно. Аналогично, анионы задерживаются отрицательно заряженной мембраной, а катионы проходят через нее. Таким образом, в камерах, образованных отрицательно и положительно заряженными мембранами, раствор концентрируется, а в смежных камерах раствор разбавляется (обессоливается).

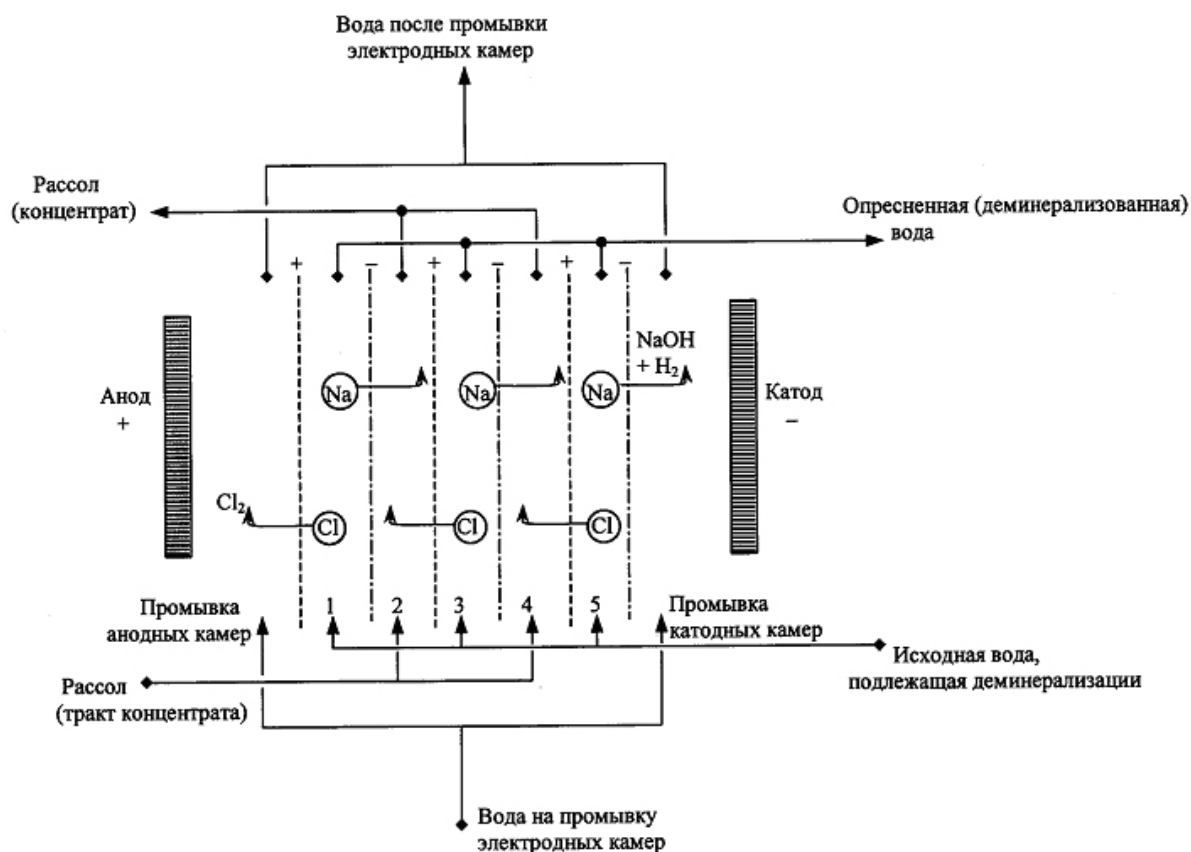


Рис. 2.37. Принцип работы электродиализной установки.

В приэлектродных камерах осуществляется электролиз. При этом на отрицательно заряженном катоде выделяется водород (H_2) и гидроксил – ионы (OH^-), а на положительно заряженном аноде выделяются хлор (Cl_2), кислород (O_2), в соответствии с реакциями:



Сила тока, переносимого через камеры электродиализного аппарата, определяется выражением:

$$I = Z \cdot F \cdot Q \cdot \Delta C / e, \quad (2.32)$$

где Z – валентность иона; F – число Фарадея (количество электричества, необходимое для переноса 1г-эквивалента солей, равное 96500 кулонов); Q – скорость потока; ΔC – разность концентраций исходной и обессоленной воды; E – эффективность.

Сила тока связана с разностью потенциалов E в соответствии с законом Ома:

$$E = I \cdot R, \quad (2.33)$$

где R – общее сопротивление мембранной камеры, равное сопротивлению одной ячейки $R_{\text{я}}$ умноженному на число таких ячеек N :

$$R = R_{\text{я}} \cdot N, \quad (2.34)$$

В свою очередь сопротивление одной ячейки представляет собой сумму сопротивлений:

$$R_{\text{я}} = R_{\text{а}} + R_{\text{д}} + R_{\text{к}} + R_{\text{р}}, \quad (2.35)$$

где $R_{\text{а}}$ – сопротивление анионообменной мембраны; $R_{\text{д}}$ – сопротивления диализатной камеры; $R_{\text{к}}$ – сопротивление катионообменной мембраны; $R_{\text{р}}$ – сопротивление рассольной камеры.

Разность потенциалов, которая должна быть приложена к электродам для осуществления процесса, определяется общим сопротивлением мембранной ванны и величиной плотности тока. Увеличение плотности тока приводит к увеличению числа перенесенных ионов. Однако плотность тока нельзя увеличивать.

Главным недостатком процесса электродиализа является концентрационная поляризация, или «жесткая» поляризация, которая ограничивает величину плотности тока через мембраны и, соответственно, скорость переноса солей через мембрану.

Причиной явления «жесткой» поляризации при электродиализе является различие в скоростях переноса ионов через мембрану и через раствор.

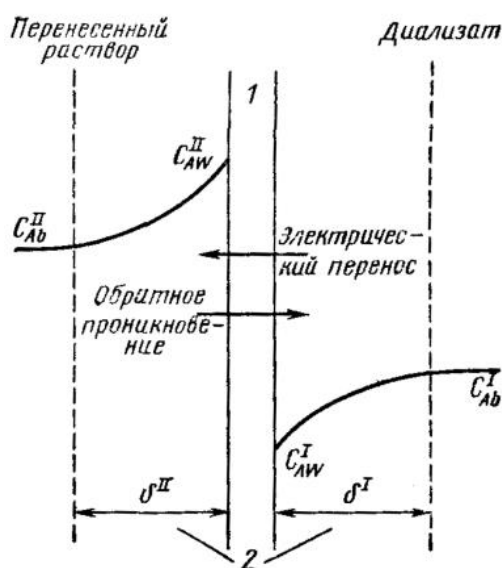


Рис. 2.38. Концентрационная поляризация в электродиализе: 1 – мембрана; 2 – граничный слой.

На рис. 2.38 показан «профиль» концентрационной поляризации. При наличии напряжения на электродах положительно заряженных ионы (катионы) движутся слева направо в направлении катода. Так как перенос через мембрану происходит быстрее (сопротивление мембраны значительно ниже сопротивления водного раствора), чем внутри пограничного слоя в растворе, то концентрация катионов на входе в мембрану снижается, в то время как на

выходе из мембраны в примембранном слое будет наблюдаться повышение концентрации. Вследствие установления в примембранном слое градиента концентраций возникает диффузный поток. При достижении стационарного состояния устанавливается определенный концентрационный профиль (рис. 2.38).

Поток катионов через мембрану, вызванный разностью электрических потенциалов, определяется уравнением:

$$J_m = \frac{t_m I}{zF}, \quad (2.36)$$

где t_m – число переноса ионов в мембране; I – сила тока.

Поток катионов внутри пограничного слоя, вызываемый разностью потенциалов, описывается как:

$$J_n = \frac{t_n \cdot I}{z \cdot F}, \quad (2.37)$$

где t_n – число переноса внутри пограничного слоя раствора.

Пограничный слой у поверхности мембраны со стороны диализатной камеры оказывается обедненным ионами и имеет высокое омическое сопротивление. Вследствие этого возрастает электрическое сопротивление, растут затраты на электроэнергию: часть электрической энергии может рассеивать в виде тепла.

При увеличении разности потенциалов плотность тока будет увеличиваться и, как следствие, концентрация катионов в примембранном слое будет уменьшаться. По мере приближения значения концентрации катионов у поверхности мембраны к нулю достигается предельная плотность тока $I_{\text{пред}}$.

Дальнейшее увеличение разности потенциалов на электродах не будет приводить к увеличению потока катионов. Для уменьшения эффекта поляризации необходимо уменьшить толщину пограничного слоя, в связи с этим особую важность приобретают конструкции и геометрия каналов, типы сепараторов – турбулизаторов, гидродинамические условия.

В процессе электродиализа перенос ионов осуществляется при протекании через камеры аппаратов постоянного электрического тока при подведении разности потенциалов на электродах.

Для того чтобы осуществить разделение раствора (опреснить воду), используют ионообменные мембраны, селективные по отношению к различным ионам, осуществляющие перенос либо катионов, либо анионов.

К ионообменным мембранам предъявляются два главных требования: высокая электропроводность и высокая селективность – высокая проницаемость для одних ионов и высокое диффузионное сопротивление для ионов с противоположным знаком заряда.

Кроме того, мембраны должны обладать высокой механической прочностью, небольшой степенью набухания.

Селективность ионитовых мембран – способность пропускать ионы с зарядом одного знака, обусловлена наличием в их полимерной матрице фиксированных ионогенных групп имеются электрический заряд. Электрическое поле, создаваемое ионогенными группами, препятствуют прохождению через мембрану ионов с зарядом того же знака, что и заряд ионогенной группы. Например, анионообменные мембраны несут положительно заряженные группы, потому катионы отталкиваются от мембраны. С другой стороны, катионообменные мембраны содержат отрицательно заряженные группы, в этом случае мембраной отталкиваются отрицательно заряженные анионы.

Ионитовые мембраны изготавливаются из ионообменных смол – ионитов, представляющих собой нерастворимые в воде органические высокомолекулярные кислоты (катиониты) или основания (аниониты), активные группы которых способны к ионному обмену в растворах.

В результате сополимеризации стирола и дивинилбензола возникает сшитый сополимер, в который можно ввести либо катионо-обменные

(например, амино-группы), либо анионообменные группы (сульфо- или карбоксильные группы).

Благодаря наличию ионных групп полимер «набухает» в воде, при этом мембраны изменяют линейные размеры, чтобы предотвратить значительное набухание, необходима «сшивка» полимера.

Перенос электричества в мембранах происходит из раствора в мембрану и из мембраны в раствор с противоположной стороны. Перенос ионов в ионите происходит за счет подвижных противоионов, поэтому, чем выше удельная обменная способность ионита, тем выше его электропроводность.

Таблица 2.7

Технологические характеристики ионитовых мембран

Мембраны	Толщина, мм	Обменная способность в мг-экв/г	Удельное поверхностное сопротивление в 0,1 Н раствора NaCl	Число переноса в 0,1 Н раствора NaCl
1. Катионитовые				
Гетерогенные:				
МК-40 Щекинского химкомбината	0,7	2,3	30	0,93
Гомогенные:				
Анкалит К-2	0,6 – 0,7	2	8 – 10	0,95
МК-100	0,3	2,8	2,5 – 5	0,97
РМК-100	0,3	1,88	6,3	0,96
2. Анионитовые				
Гетерогенные:				
МА-40	0,7	3	35	0,93

Щекинского химкомбината				
Гомогенные:				
Анкалит А-4	0,6	3,5	8 – 15	0,93
МА-41	0,6	2,5	9 – 12	0,93
МА-100	0,3	2,3	5 – 6	0,97

Примечания: 1. Мембранный потенциал для ионитовых мембран равен 0,05 Н при концентрациях растворах NaCl 0,1 Н с одной стороны мембраны и 0,01 Н с другой.

2. Перенос воды составляет 0,01 – 0,3 мл/см²·при плотности тока 0,01 А/см².

Способность ионитовой мембраны проводить электрический ток характеризуется ее удельной электропроводностью, представляющей собой электропроводность мембраны площадью 1 см² и толщиной 1 см. Иногда для характеристики электропроводимости мембраны употребляют величину ее поверхностной электропроводности, т.е. электропроводности мембраны площадью 1см² и толщиной, равный фактической толщине данной мембраны. Удельная электропроводность имеет размерность Ом⁻¹×см⁻¹, поверхностная электропроводность – Ом⁻¹×см⁻². Идеально селективная мембрана будет характеризоваться числом переноса 1,0.

Существуют два различных типа ионообменных мембран – гетерогенные и гомогенные.

Гетерогенные мембраны получают путем смешения тонко измельченного ионита с пленкообразующим связующим (полиэтилен, полипропилен, полистирол, поливинилхлорид). Получение пленок или листовых мембран осуществляется методом каландрирования или сухого формования. Часто листы мембран «армируют» путем запрессовывания в них сеток из шелка или стойкого в кислотах и щелочах искусственного волокна. Эти мембраны обладают относительно невысокой электропроводностью и селективностью. С целью увеличения электропроводности гетерогенных мембран и повышения их селективности катионитовые мембраны подвергают обработке

сульфирующими агентами. Для превращения поверхностных слоев инертного связующего в сульфокатионит, анионитовые мембраны подвергают нитрованию путем введения аминогрупп с последующим их окислением.

Гомогенные мембраны получают путем введения ионных групп в полимерную пленку двумя методами:

1) сополимеризацией имеющего активные группы мономера со «сшивающим» агентом, например, сополимеризацией пропилстиролсульфоната с дивинилбензолом.

2) Получением пленки сополимера с введением в готовую пленку активных групп, например сульфированием стиролдивинилбензольной пленки.

Электропроводность ионитовых мембран возрастает с увеличением их удельной обменной способности.

При проектировании электродиализных установок характеристики ионитовых мембран предоставляются заводом – изготовителем (табл. 2.7).

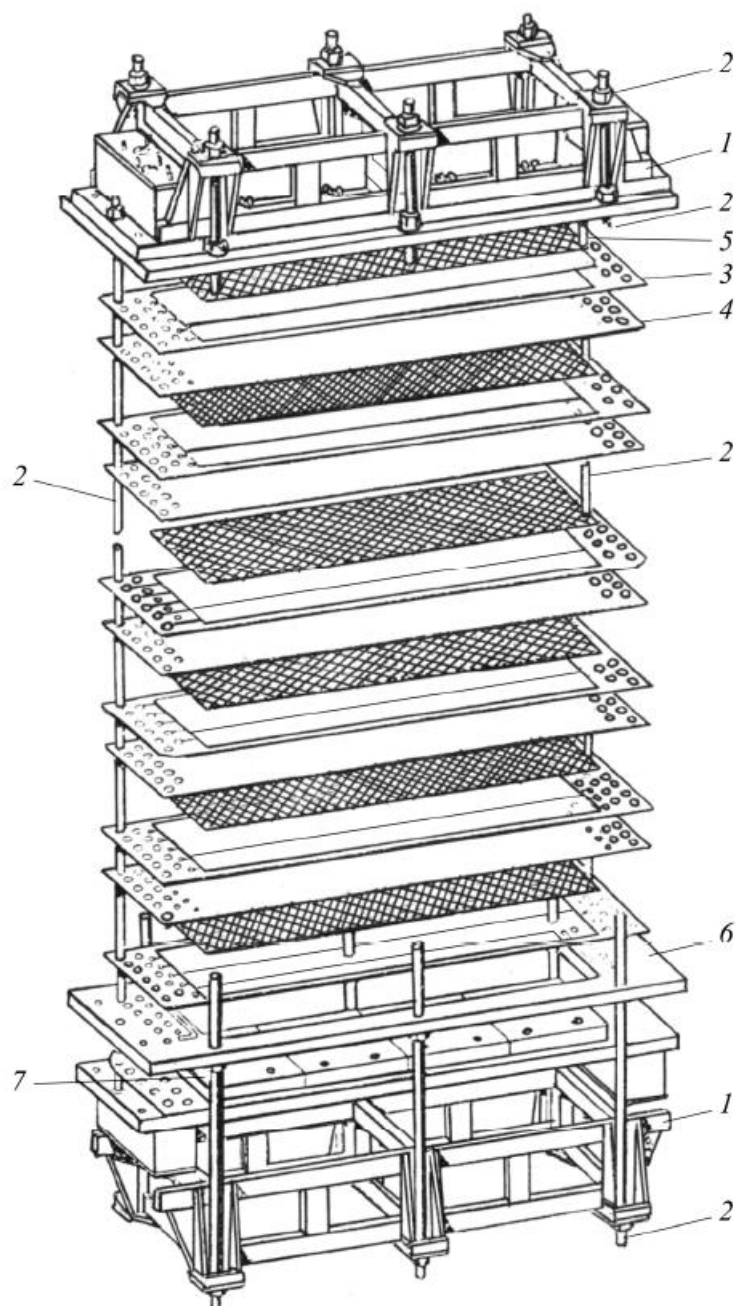


Рис. 2.39. Устройство электродиализного аппарата типа фильтр-пресс:

*1 – нажимные плиты; 2 – стяжные болты; 3 – рамки; 4 – мембраны; 5 – сепараторная сетка; 6 –
электродная камера; 7 – электроды.*

В настоящее время в практике опреснения воды методом электродиализа применяются аппараты конструкции фильтр-пресс. Они представляют собой сборку из чередующихся камер дилюата и рассола, разделенных катионитовыми и анионитовыми мембранами, между которыми находятся рамки из диэлектрика. Толщина рамки определяет толщину камеры.

Каналы для подвода и отвода воды в камерах образованы с помощью отверстий в рамках.

Анод и катод в аппарате укрепляются в торцевых плитах. Через отверстия в плитах «пропущены» стяжные болты, с помощью которых происходит снятие конструкций. Уплотнение всей сборки происходит по площади соприкосновения поверхностей рамок и мембране (рис. 2.39).

Вся сборка находится в электрическом поле постоянного тока между парой электродов, расположенных по торцам аппарата.

Под действием электрического поля происходит направленное движение ионов солей. При этом катионы, двигаясь к катоду, проходят через катионитовые мембраны и задерживаются анионитовыми мембранами. Аналогичный процесс происходит с анионами.

В результате в камерах диллюата концентрации ионов уменьшается (происходит опреснение воды), а в камерах рассола концентрации ионов возрастают.

В камерах, смежных с электродами, протекают электродные процессы с выделением газов (кислорода, водорода).

Рамки электродиализных аппаратов изготавливают из полиэтилена, поливинилхлорида или других неэлектропроводимых материалов.

Рамки прокладочного типа образуют внешние стенки камеры (рис. 2.39). Между мембранами во избежание их соприкосновения помещаются прокладки, вкладываемые в рамку. Эти прокладки представляют собой сетки пространственного плетения. Сетки изготавливают из поливинилхлорида, полиэтилена и других материалов – диэлектриков. Конфигурация плетения сетки должна быть такова, чтобы она могла поддерживать мембраны и хорошо турбулизировать поток жидкости при минимальном экранировании поверхности мембран. Поэтому прокладки в рамках называют «сепараторами – турбулизаторами».

Учитывая трудности сборки аппаратов с большим количеством рабочих ячеек, их количество обычно не превышает 150 – 250 штук.

Электродиализные аппараты подразделяются на горизонтальные и вертикальные в зависимости от направления электрического поля.

Существенным достоинством аппаратов с горизонтальным направлением электрического тока является беспрепятственное удаление газов из рабочих камер за счет всплывания пузырьков и уноса в восходящем потоке.

Катоды и аноды опреснительных аппаратов изготавливаются из стойких к окислению сильными окислителями материалов. Из известных материалов достаточной устойчивостью обладают платина, магнетит и графиты высокой плотности. Также применяются электроды из платинированного титана с толщиной платинового покрытия 1-3 микрона.

В табл. 2.8 приводятся данные по электродиализным аппаратам, предназначенным для комплектации опреснительных станций различной производительности, разработанных Алма-Атинским электромеханическим заводом МПС. Габаритные размеры аппаратов представлены на рис. 2.40 и 2.41.

Таблица 2.8

Характеристики электродиализных аппаратов

№ п/п	Показатель	ЭХО-М-5000×200*	ЭХО-М-5000×300	ЭДА-1500×1000* 1678-000-ТУ
		ТУ-35-ЦЕ-265-78		
1	Тип аппарата	Однопакетный	Двухпакетный с центральным приводом	
2	Тип рабочей камеры	Прямоточно-сетчатая		
3	Количество рабочих ячеек	200	300	300
4	Размер мембран МА-40 и МК-40	1470×480		1470×960
5	Коэффициент использования мембран, %	72	72	79
6	Материал корпусной рамки	ПНП ГОСТ 16337-77		
7	Толщина корпусной рамки	1,0	1,0	1,2
8	Материал электродов	Титан платинированный или электродный графит	Титан платинированный	
9	Пропуская способность по опресняемой воде, м ³ /ч	20	30	70
10	Съем соли за один проход при номинальной производительности для вод хлоридного класса	До 30%	До 30%	До 30%
11	Максимально допустимое напряжение постоянного тока, В	500	500	500
12	Рабочее давление, МПа (кгс/см ²)	До 0,3 (3)	До 0,3 (3)	До 0,3 (3)
13	Выход по току	Не менее 0,85	Не менее 0,85	Не менее 0,85
14	Вес аппарата, кг	900	1500	2700

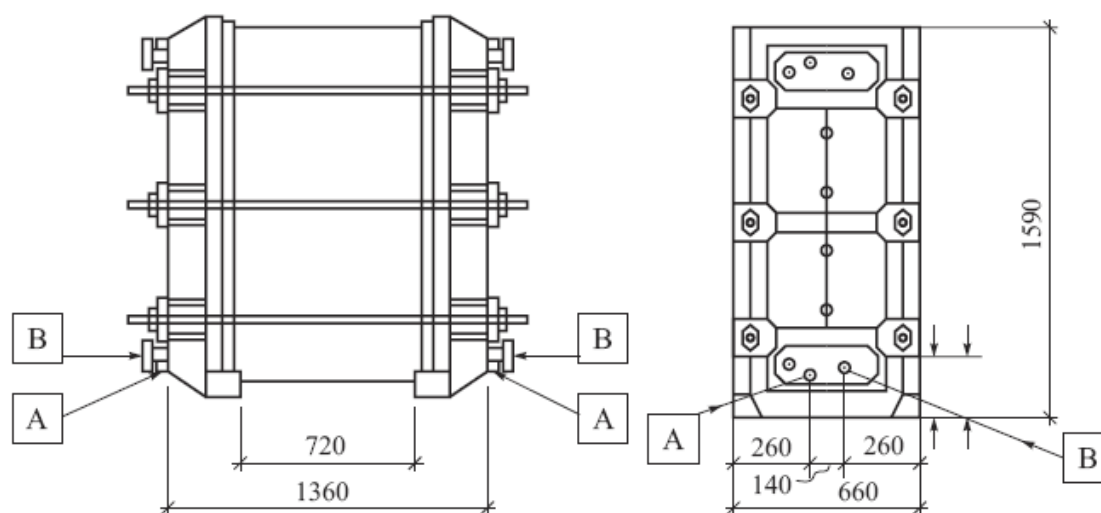


Рис. 2.40. Габаритные размеры электродиализного аппарата ЭХО-М-5000x200:

A – вход диализата $d_y = 50$; B – вход рассола $d_y = 50$; B – выход диализата $d_y = 50$; Γ – выход рассола $d_y = 50$.

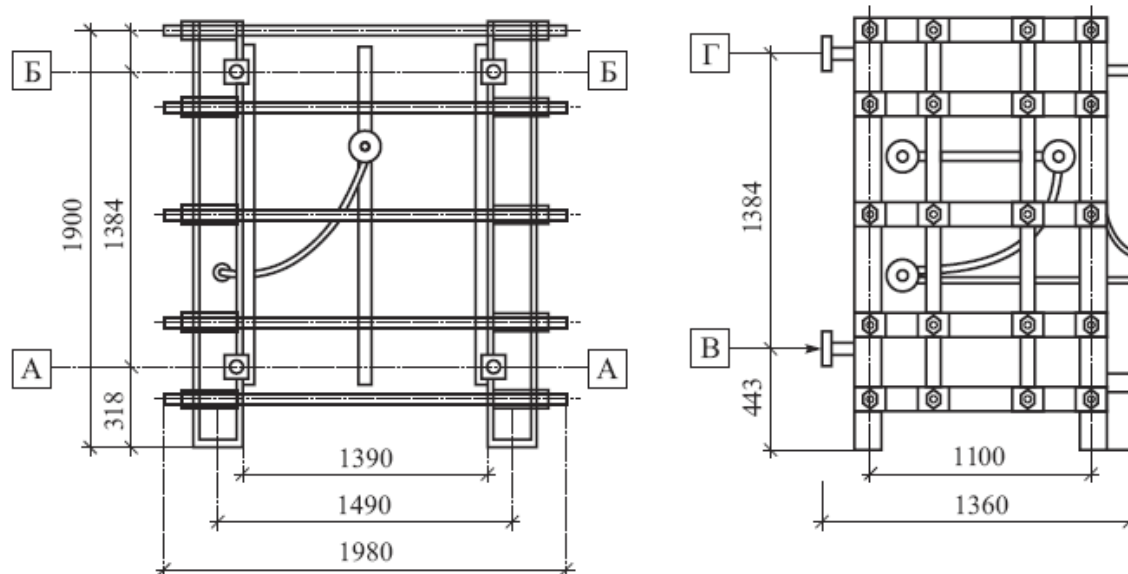


Рис. 2.41. Габаритные размеры электродиализного аппарата ЭДА-1500х1000:

A – вход диализата $d_y = 100$; B – вход рассола $d_y = 100$; Б – выход диализата $d_y = 100$; Г – выход рассола $d_y = 100$.

Электродиализные аппараты ЭХО-М-5000×200 (рис. 2.40) рекомендуется для станций опреснения производительностью 600-1500 м³/сут., ЭХО-М-5000×300 для станций производительностью 1500-3000 м³/сут., ЭДА-1500×1000 (рис. 2.41) для станций производительностью 3000-15000 м³/сут.

Процесс опреснения воды методом электродиализа может быть осуществлен по одной из рассмотренных ниже схем (рис. 2.42).

а) Прямоточная.

В прямоточных опреснительных установках солесодержание опресненной воды снижается от исходного до заданного за один проход воды через установку (рис. 2.42, а).

Дилюат и рассол проходят параллельными потоками через один или несколько последовательно установленных аппаратов (ступеней). Эта схема, как правило, применяется в тех случаях, когда расходы дилюата и рассола равны (при кратности концентрирования $K = 2$).

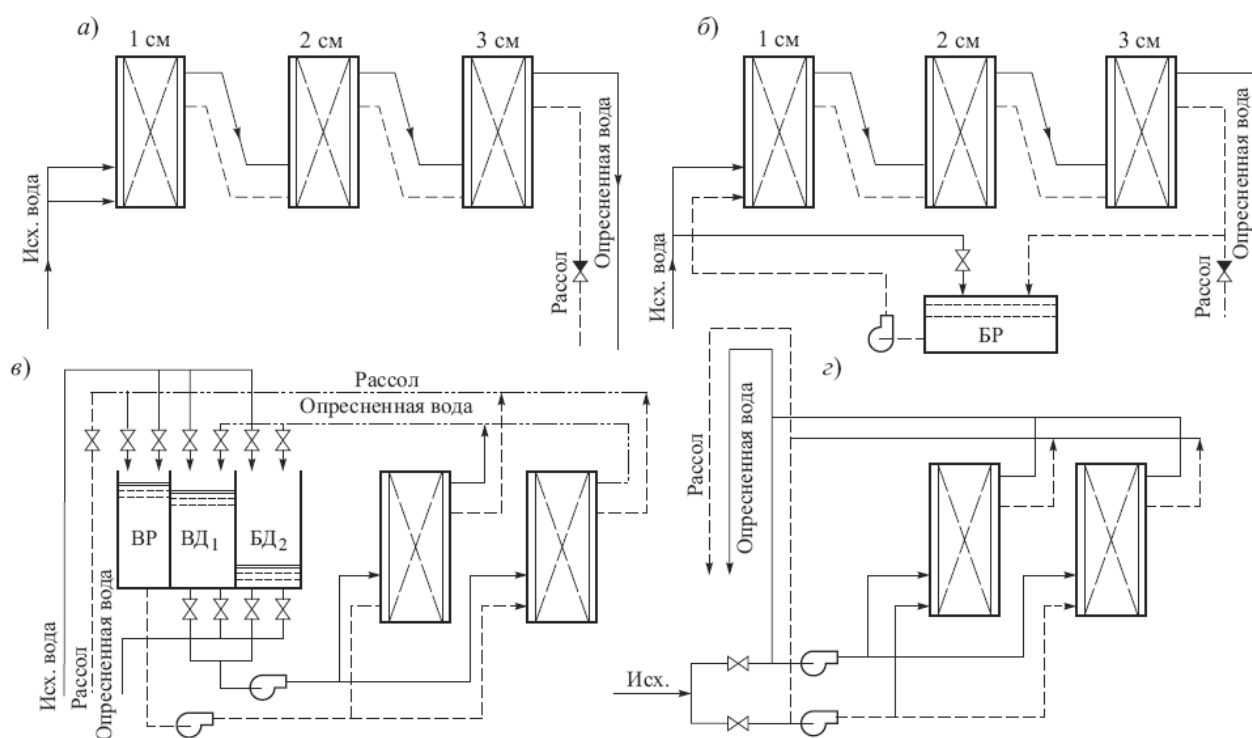


Рис. 2.42. Схемы электродиализных опреснительных установок:

а) прямоточная; б) прямоточная с рециркуляцией рассола; в) циркуляционно-порционная схема; г) циркуляционная схема непрерывного действия.

б) Прямоточная схема с рециркуляцией рассола.

В таких установках диализат и рассол проходят параллельными потоками через несколько последовательно установленных аппаратов (ступеней) с равными расходами (рис. 2.42, б). Для поддержания оптимальной концентрации рассола осуществляется его рециркуляция. Эта схема рекомендуется для крупных опреснительных установок. В каждой из ступеней опреснения может быть установлено по несколько параллельных аппаратов.

в) Циркуляционно-порционная схема.

Диализат и рассол прокачиваются циркуляционными насосами через один или несколько параллельно установленных аппаратов с возвратом в циркуляционные емкости. Работа установки осуществляется до тех пор, пока солесодержание диализата не снизится до заданной величины. Затем опресненная вода выдается потребителю, а циркуляционный насос диализата

переключается на вторую емкость, предварительно заполненную исходной водой (рис. 2.42, в).

Концентрация рассола в циркуляционной емкости определяется величиной допустимой кратности концентрирования исходной воды и поддерживается на постоянном уровне за счет непрерывной продувки и восполнения его убыли в емкости рассола исходной водой.

г) Циркуляционная схема непрерывного действия

Эта схема аналогична предыдущей, однако в ней отсутствуют циркуляционные емкости, а исходная вода подается непосредственно во всасывающие линии циркуляционных насосов дилюата и рассола. В дилюатном тракте исходная вода разбавляется частью опресненной воды, вытесняя остальную часть потребителю. В рассольном тракте исходная вода разбавляет циркулирующий рассол до концентрации, определяемой величиной допустимой кратности концентрирования, и вытеснят часть концентрированного рассола, идущего на сброс (рис. 2.42, г).

К числу достоинств циркуляционных схем следует отнести:

- возможность использования при любом солесодержании исходной воды одного аппарата.

- простота регулирования глубины опреснения.

К числу недостатков можно отнести большие затраты энергии, необходимость в циркулирующих емкостях и дополнительном оборудовании.

Электродеионизация

Электродеионизация – процесс, совмещающий в себе преимущества электродиализа и ионного обмена. Этот процесс разработан для проведения глубокого обессоливания воды и использования как альтернативы ионообменным фильтрам смешанного действия.

Сущность процесса заключается в том, что ионообменную смолу помещают в камеры электродиализного аппарата, для увеличения глубины

обессоливания. Как уже говорилось выше, основной недостаток электродиализного процесса заключается в трудности достижения глубокой степени обессоливания воды, что объясняется явлением «жесткой» поляризации. В дилуатных камерах электродиализной ячейки при низких концентрациях ионов солей прекращается перенос заряда, и достигнуть меньшей концентрации солей практически невозможно. Однако, если в дилуатные камеры поместить зерна катионита и анионита (рис. 2.43), катионы и анионы солей будут обмениваться на ионы H^+ и OH^- , при этом катионы и анионы переходят в иониты, а ток переносится ионами H^+ и OH^- .

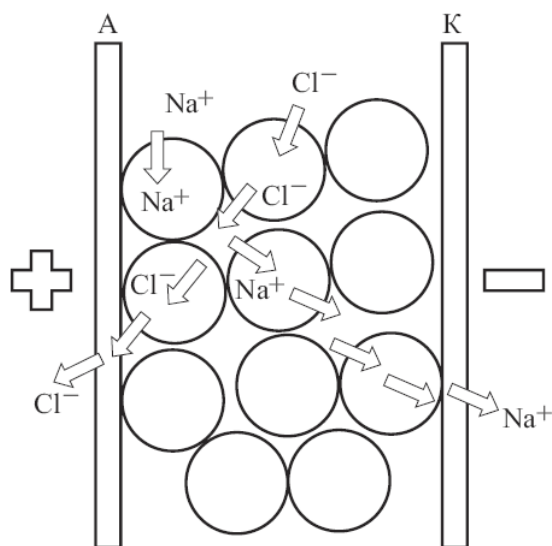


Рис. 2.43. Движение ионов в камере между заряженными ионоселективными мембранами при помещении в раствор зерен ионитов

При этом в электрическом поле происходит диссоциация молекул воды на ионы H^+ и OH^- . Присутствие в воде этих ионов вызывает обмен ионов H^+ на катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , и OH^- на анионы Cl^- и SO_4^{2-} . Переходящие в раствор ионы солей, двигаясь в электрическом поле, переходят в камеры рассола, как в случае «классического» электродиализа (рис. 2.44, а).

Таким образом, при электродеионизации эффект обессоливания достигается благодаря ионному обмену, происходящему в камерах электродиализного аппарата. Благодаря процессу электродиализа происходит

эффект регенерации ионитов образующимися за счет диссоциации воды ионами H^+ и OH^- (рис. 2.44, б).

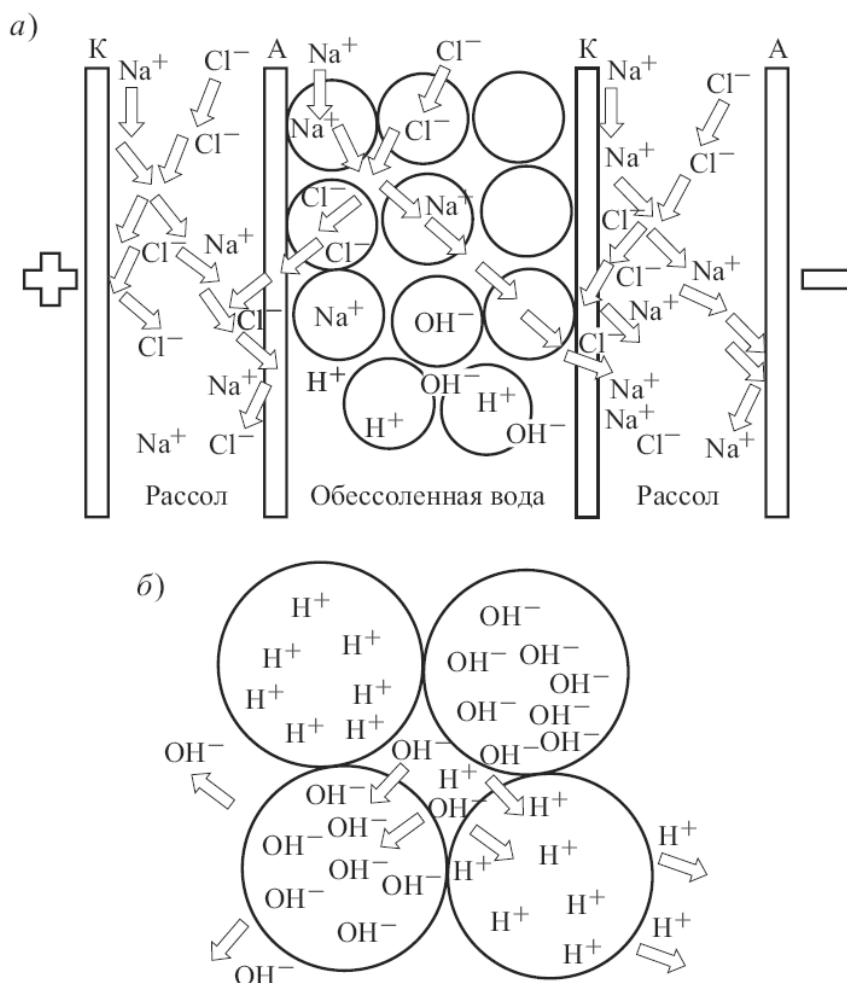


Рис. 2.44. Схема процесса деионизации и регенерации ионитов в диализатных камерах электродиализной ячейки (а) и непрерывная регенерация зерен катионита и анионита ионами H^+ и OH^- (б).

Диссоциация воды происходит при недостатке ионов в растворе (при низкой концентрации ионов солей в дилуате). Из-за недостатка ионов солей переносящих заряд, ток переносится ионами H^+ и OH^- , что вызывает дополнительную диссоциацию молекул воды.

В электродеионизационной ячейке при ее работе создается 2 зоны, расположенные по ходу движения воды в камере: зона усиленного переноса (транспорта) и зона режима электрорегенерации.

Сильно-диссоциированные ионы (Ca^{2+} , SO_4^{2-}) удаляются в первую очередь (зона усиленного переноса), слабо-диссоциированные ионы (SiO_3^{2-} , BO_3^{3-}) удаляются по мере прохождения воды через канал камеры во второй зоне, где происходит также режим регенерации – перенос ионов H^+ и OH^- (рис. 2.44).

При получении сверхчистой воды, необходимая сила тока определяется по формуле:

$$I = \frac{Q(C_{\text{нач}} - C_{\text{кон}})F}{\eta}, \quad (2.38)$$

где F – число Фарадея; η – выход по току.

Величина выхода по току определяется как отношение теоретически полученного значения силы тока I , необходимой для обессоливания, и фактического значения силы тока I_a .

$$\eta = \frac{I}{I_a} \cdot 100, \%. \quad (2.39)$$

При глубоком обессоливании в аппаратах электродеионизации ток переносится с помощью ионов солей, содержащихся в воде, и ионов H^+ и OH^- , образующихся при диссоциации воды. Ионы H^+ и OH^- , переносимые под действием приложенного напряжения, вызывают электрохимическую регенерацию смолы. Таким образом, электроэнергия лишь частично используется на перенос солей (обессоливание воды), а в основном – на перенос ионов H^+ и OH^- . Например, при величине выхода по току 25% и при силе постоянного тока 4А, только 1 ампер переносит ионы солей, а 3 ампера расходуются на перенос ионов H^+ и OH^- . Обратная диффузия ионов (в противоположном переносу тока направлении) также вызывает снижение эффективности процесса. Для того, чтобы производить воду с электросопротивлением выше одного мегома, необходимо, учитывая значение коэффициента солесяема аппарата, подавать в аппарат воду с низким солесодержанием (менее 0,005 мг-экв/л) и проводить процесс при величине выхода по току менее 35%. В некоторых случаях, при необходимости удаления

труднодиссоциированных ионов (силикатов и бора), используются значения величины выхода по току 5% и менее.

Производителями оборудования для электродеионизации используется параметр Е-фактор (EF). Эта величина представляет собой отношение приложенной силы тока и теоретически рассчитанной величины силы тока:

$$EF = I_a / I. \quad (2.40)$$

Эта величина, обратная величине выхода по току, показывающая, во сколько раз приложенная сила тока должна быть выше теоретически определенной величины.

Изготовители оборудования ограничивают величину приложенного напряжения значением 600V, чтобы избежать затрат на дорогостоящие системы электропитания. При этом величина силы тока зависит от электрического сопротивления. Поскольку эффективность работы системы деионизации (расход воды, который можно обессолить или глубина деионизации, который можно добиться для заданного расхода) зависит от величины силы тока, важно уметь определять оптимальные параметры процесса, в частности, подбирать наименьшую величину сопротивления ячеек.

Для определения величины омического сопротивления электродиализной ячейки, необходимо провести расчет выхода по току:

$$\eta = \frac{3,22 \cdot C \cdot Q}{n \cdot I_a}, \quad (2.41)$$

где C – общее солесодержание, мг/л; n – количество ячеек в аппарате; Q – расход воды м³/ч.

В представленной формуле солесодержание C учитывается только легко переносимые ионообменным материалом сильнодиссоциированные ионы. Для учета слабодиссоциированных ионов (силикатов и бора) используется параметр FCE (Feed Conductivity Equivalent). Формула определения выхода по току с учетом FCE выглядит следующим образом:

$$\eta = \frac{1,31 \cdot FCE \cdot Q}{n \cdot I_a}. \quad (2.42)$$

Все расчеты процесса деионизации проводятся аналогично расчетам процесса электродиализа.

Подбор аппаратов для электродеионизации производится на основе их параметров: расход, величина селективности (солестьема) и т.д. Простота подбора определяется тем, что требования к исходной воде ограничиваются величиной 10-30 мг/л, т.е. аппараты уже рассчитаны для проведения процесса. Общий вид и габариты стандартного аппарата деионизации производительностью 25-30 м³/ч показаны на рис. 2.45, а внешний вид и габариты станции электродеионизации производительностью 200 м³/ч показаны на рис. 2.46.

Для определения соотношения потоков фильтрата и концентрата (диализата и рассола) используется параметр выхода фильтрата R (recovery), определяемый как:

$$R = Q_{\text{ф}}/Q_{\text{к}}, \quad (2.43)$$

где $Q_{\text{ф}}$ – расход фильтрата, м³/ч; $Q_{\text{к}}$ – расход концентрата, м³/ч.

Электросопротивление аппаратов деионизации складывается из:

- удельного поверхностного сопротивления мембран (катионообменных и анионообменных);
- сопротивления ионообменного материала в камерах;
- удельных электропроводностей растворов в дилюатных и рассольных камерах;
- сопротивления катодных и анодных камер.

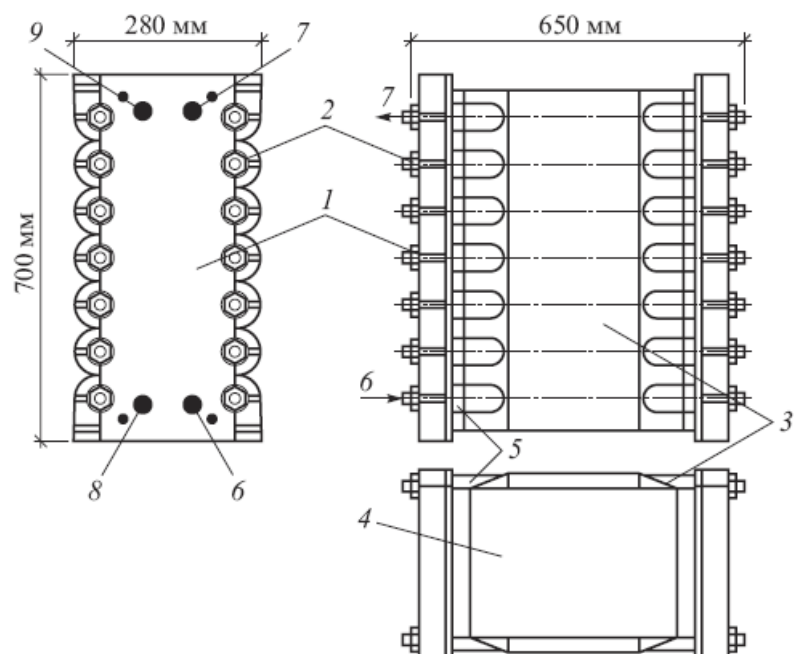


Рис. 2.45. Внешний вид и габаритные размеры аппарата электродеионизации производительностью 25-30 м³/ч:

1 – стяжные болты; 2 – гайки; 3 – ячейки; 4 – боковая накладка; 5 – накладки на болты; 6 – подача исходной воды; 7 – вход дилуата; 8 – вход концентрата; 9 – выход концентрата

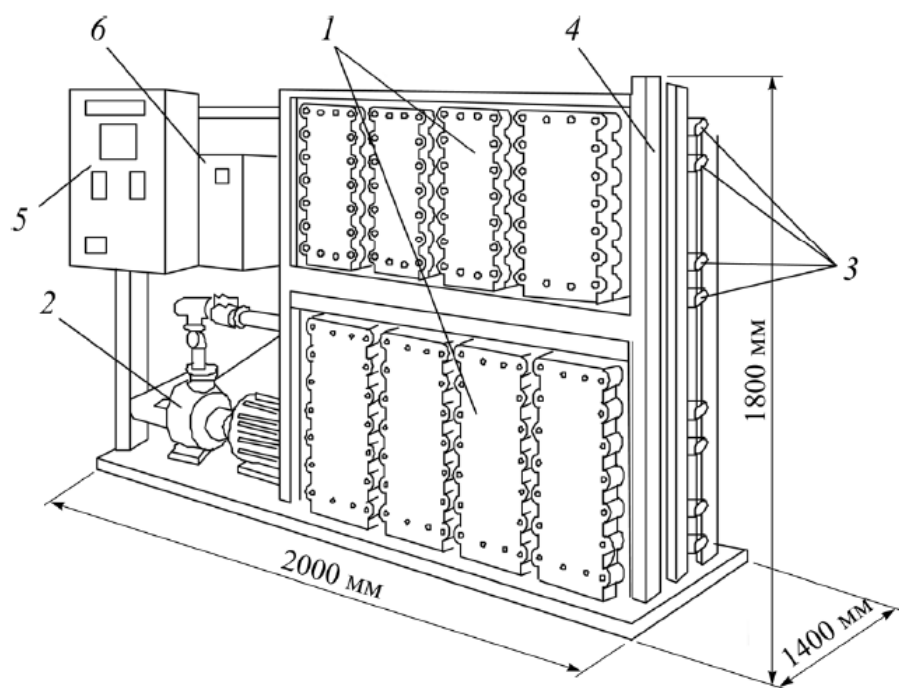


Рис. 2.46. Внешний вид и габариты станции электродеионизации:

1 – аппараты; 2 – циркуляционный насос; 3 – трубопроводы распределительной системы; 4 – рама; 5 – шкаф управления; 6 – тиристорный преобразователь

Кроме того, сопротивление аппаратов деионизации зависит от температуры.

Для уменьшения сопротивления аппаратов используют различные методы:

1. Увеличение солесодержания рассольных камер с помощью рециркуляции концентрат;

2. Увеличение солесодержания концентрата с помощью его «подсаливания», добавления раствора NaCl путем его постоянного дозирования. Главными недостатками этой технологии является наличие сбросного потока концентрата и образования хлора в анодных камерах.

3. Наполнение ионообменной смолой рассольных камер. Это уменьшает обратную диффузию ионов, улучшает солесъем, улучшает отвод ионов с поверхности мембран. Сила тока определяется из выражения:

$$I = \frac{U - (U_э + nE_m)}{n \cdot r_я}, \quad (2.44)$$

где n – количество ячеек; $r_я$ – электросопротивления одной ячейки.

Плотность тока, расходуемого на перенос ионов, зависит от величины выхода по току. Выход по току может быть определен по формуле:

$$\eta = \frac{Q(C_{нач} - C_{кон})F}{I_a}. \quad (2.45)$$

Процесс электродеионизации специально разработан для получения глубоко деионизованной воды в схемах обессоливания вместо ионообменных фильтров смешанного действия. Основным преимуществом в применении аппаратов электродеионизации является отсутствие применения реагентов (кислот и щелочей) для регенерации ионообменных фильтров. Поэтому процесс электродеионизации является «экологически чистым» методом, не имеющим солевых сбросов.

2.3. Дегазация воды

2.3.1. Теоретические основы процесса

Совокупность мероприятий по удалению из воды растворенных в ней или образующихся в процессе ее обработки газов называют дегазацией. Обычно из воды приходится удалять кислород, углекислоту, сероводород, метан и др. (последние два газа при обработке подземных вод). Кислород, углекислота и сероводород вызывают, либо катализируют процесс коррозии металла. Углекислый газ кроме того вызывает разрушение бетона. При обессоливании воды приходится решать задачу удаления углекислоты, которая образуется при взаимодействии бикарбонат-иона с ионом водорода.

Существующие методы дегазации воды подразделяют на физические и химические. При использовании физических методов вода, содержащая удаляемый газ, приводится в соприкосновение с воздухом, если парциальное давление этого газа в воздухе близко к нулю или же создаются условия, при которых растворимость газа в воде становится ничтожно малой.

С помощью первого приема, т.е. аэрации воды, обычно удаляют свободную углекислоту и сероводород, поскольку парциальное давление этих газов в атмосферном воздухе близко к нулю. Ко второму приему обычно прибегают при обескислороживании воды. В этом случае ввиду значительного парциального давления кислорода в атмосферном воздухе аэрацией воды кислород удалить нельзя, поэтому воду доводят до кипения, тогда растворимость всех газов в ней падает до нуля. Для этого применяют либо нагревание воды (в термических деаэраторах), либо понижение давления до величины, при которой вода кипит без дополнительного подогрева в вакуумных дегазаторах.

В настоящее время наиболее распространенной теорией, объясняющей механизм передачи вещества между жидкой и газообразной фазами в процессе десорбции, является теория двухслойного поглощения, согласно которой десорбция сводится к последовательной диффузии удаляемого газа через два пограничных слоя – жидкостный и газовый. При диффузии газа из жидкой фазы в газообразную концентрация его и парциальное давление изменяются в

диффузионных пленках, как показано на рис. 2.47. Концентрация газа в жидкой фазе равна концентрации его на границе между жидкостной пленкой и основной массой жидкости; в жидкостной пленке происходит снижение концентрации от величины C_1 до C_2 , отвечающей парциальному давлению p_2 диффундирующего газа на границе раздела фаз; в газовой пленке парциальное давление диффундирующего газа изменяется от величины p_2 до величины p_1 имеющей место на границе газовой пленки и основной массы газа, в которой парциальное давление диффундирующего газа также равно величине p_1 .

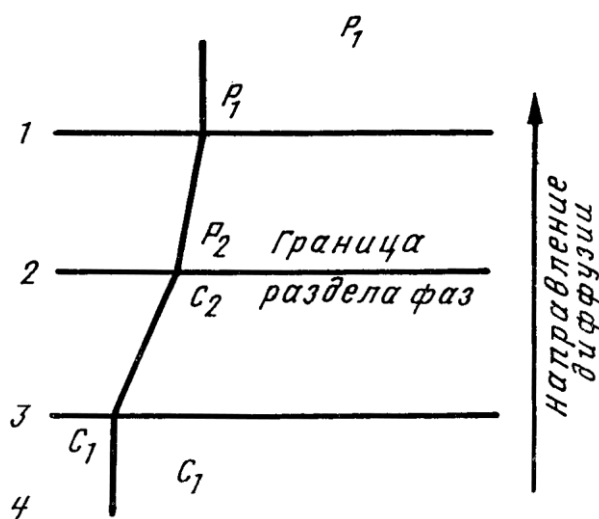


Рис. 2.47. Схема изменения давлений и концентраций газа на границе раздела фаз:
1, 4 – газообразная и жидкостная фазы; 2, 3 – газовая и жидкостная диффузионная пленка

По теории двухслойного поглощения, общее сопротивление десорбции R равно сумме сопротивлений, оказываемых пограничными диффузионными слоями:

$$R = R_1 + R_2, \quad (2.45)$$

где R_1 – сопротивление жидкостного пограничного слоя; R_2 – сопротивление газового пограничного слоя.

Величины, обратные сопротивлениям в пограничных слоях, называют частными или пленочными коэффициентами десорбции:

$$K_{\text{ж}} = \frac{1}{R_1}; K_{\text{г}} = \frac{1}{R_2}. \quad (2.46)$$

Численно частный коэффициент десорбции равен количеству удаляемого (десорбируемого) газа, передаваемого через единицу площади соприкосновения фаз в единицу времени при движущей силе в диффузионной пленке, равной единице.

Скорость процесса десорбции растворенного в воде газа в воздух определяется из выражения

$$v = \frac{dG}{TdA}, \quad (2.47)$$

где T – время, ч; A – площадь соприкосновения жидкой и газообразной фаз, м²; G – количество десорбируемого газа, кг/ч.

При малой концентрации десорбируемого газа в воде скорость процесса десорбции определяется средней движущей силой ΔC_{cp} и сопротивлением процессу диффузии в пленке жидкости $K_{\text{ж}}$

$$\frac{dG}{TdA} = \frac{\Delta C_{cp}}{R_1} = K_{\text{ж}} \Delta C_{cp}. \quad (2.48)$$

Согласно теории двухслойного поглощения, количество десорбируемого газа

$$G = K_{\text{ж}} A \Delta C_{cp}, \quad (2.49)$$

где K_0 – общий коэффициент десорбции, м/ч, который для случая десорбции труднорастворимых газов может быть приравнен к пленочному коэффициенту в жидкостной пленке $K_{\text{ж}}$; A – площадь соприкосновения жидкой и газообразной фаз, м²; ΔC_{cp} – средняя движущая сила процесса десорбции, кг/м³, которую для случаев десорбции из малоконцентрированных растворов газов подсчитывают по уравнению

$$\Delta C_{cp} = \frac{(C_{\text{вх}} - C_{\text{рвх}}) - (C_{\text{вых}} - C_{\text{рвых}})}{2,3 \lg \frac{C_{\text{вх}} - C_{\text{рвх}}}{C_{\text{вых}} - C_{\text{рвых}}}}, \quad (2.50)$$

где $C_{вх}$ и $C_{вых}$ – концентрации удаляемого газа в воде соответственно на входе ее в аппарат и на выходе из него; $C_{рвх}$ и $C_{рвых}$ – равновесные концентрации удаляемого газа в воде соответственно при входе ее в аппарат и на выходе из него.

Таким образом, величина ΔC_{cp} зависит от разности концентраций удаляемого газа в воде и воздухе.

Основное расчетное уравнение аппаратов для извлечения из воды растворенных газов десорбцией записывается в следующем виде:

$$\begin{aligned} A &= \frac{G}{K_o \Delta C_{cp}} \\ G &= 0,001q(C_{вх} - C_{вых}), \end{aligned} \quad (2.51)$$

где q – производительность аппарата, м³/ч.

Коэффициент сопротивления процессу диффузии в пленке жидкости $K_{ж}$ возрастает с увеличением относительной скорости движения воды и воздуха в десорбере, с повышением температуры и увеличением коэффициента диффузии удаляемого газа.

Из величин, входящих в общее уравнение десорбции, G и ΔC_{cp} , могут быть подсчитаны по заданным условиям работы дегазатора, величина $K_{ж}$ вычислена опытным путем или с помощью теории подобия. Это уравнение является основным для расчета десорбционных аппаратов. Из него находят необходимую поверхность соприкосновения жидкой и газообразной фаз для обеспечения заданного эффекта дегазации, а, следовательно, и размер проектируемых аппаратов.

2.3.2. Оборудование для дегазации воды

В технике водоподготовки для удаления газов из воды (кроме кислорода, ввиду его значительного парциального давления в воздухе) в основном применяют пленочные дегазаторы, а для обескислороживания воды – вакуумные дегазаторы или термические деаэраторы. Барботажные дегазаторы используют в исключительных случаях из-за их сравнительно высокой

эксплуатационной стоимости (большой расход электроэнергии на компрессию воздуха).

Целесообразно использовать дегазаторы, загруженные пластмассовыми или керамическими кольцами Рашига и работающие при подаче в них воздуха вентилятором или вакуумно-эжекционные аппараты.

Самым совершенным типом дегазатора для глубокого удаления из воды свободного диоксида углерода (IV) считают *пленочный* дегазатор, загруженный *кольцами Рашига* (рис. 2.48, а). Он обеспечивает наиболее устойчивый эффект дегазации, долговечен, требует меньшей площади и высоты, а также меньшего расхода воздуха, чем дегазатор с деревянной хордовой насадкой. Строительная стоимость его близка к стоимости дегазаторов с деревянной насадкой, а эксплуатационная стоимость ниже, особенно для установок большой производительности. Наиболее целесообразно применять эти дегазаторы на крупных установках и при большом содержании свободного диоксида углерода (IV) в воде, поступающей в дегазатор.

Кольцо Рашига представляет собой полый керамический цилиндр, высота которого равна наружному диаметру. Для уменьшения высоты дегазатора выгоднее применять кольца более мелкого размера, так как единица объема насадки из таких колец имеет большую поверхность. Для загрузки дегазаторов наиболее часто применяют кольца размером 25х25х3 мм, так как общее сопротивление насадки из таких колец при наиболее неблагоприятных условиях работы аппарата не превышает значения напора, развиваемого центробежными вентиляторами среднего давления обычного типа.

Применение *вакуумных* дегазаторов (рис. 2.48, б) для удаления из воды свободной углекислоты целесообразно только в случаях Н-Na-катионитового умягчения или ионитового обессоливания подземных вод, когда в обессоленной или умягченной воде лимитируется содержание кислорода. Наиболее полная дегазация достигается разбрызгиванием в вакууме с

одновременным подогревом воды. Вакуумные дегазаторы также могут загружаться насадкой из колец Рашига.

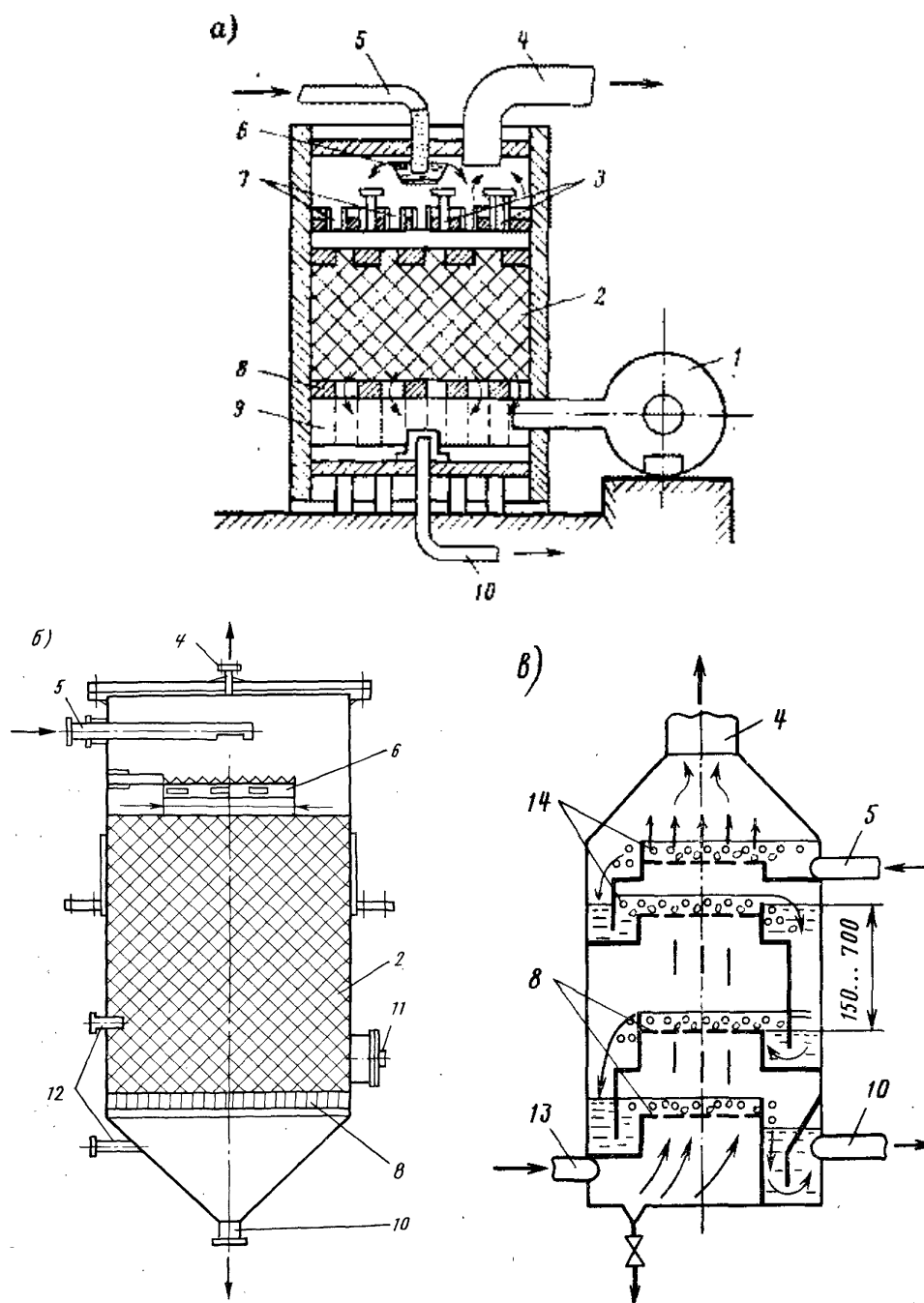


Рис. 2.48. Пленочный (а), вакуумный (б) и пенный (в) дегазатор:

1 – вентилятор; 2 – насадка из керамических колец Рашига; 3 – газоотводной патрубок; 5, 10 – ввод исходной и отвод дегазированной воды; 7 – оросительные патрубки; 4 – удаление воздуха; 9 – поддон; 8 – дырчатое днище; 6 – водораспределительная воронка; 11 – люк; 12 – патрубки для водомерного стекла; 13 – ввод воздуха; 14 – пенный слой

При дегазации воды *барботированием* воздуха через слой воды также создается большая поверхность соприкосновения жидкой и газообразной фаз; тем самым ускоряется выделение газа. Воздух подается компрессорами обычно через дырчатые трубы или пористые плиты. В зависимости от требуемой степени дегазации воды барботажные дегазаторы применяют одно- или двухсекционные с последовательным пропуском воды.

Разновидностью барботажных дегазаторов являются дегазаторы пенного типа (рис. 2.48, в). Основным конструктивным элементом аппаратов служит перфорированная пластина (решетка). Вода тонким слоем протекает вдоль решетки и под действием поперечного тока воздуха, подаваемого через ее отверстия, вспенивается. В пенном слое газы из воды десорбируются интенсивно. При удалении диоксида углерода (IV) и расходе воды около 100 м³/ч дегазаторы пенного типа наиболее экономичны. При использовании аппаратов этого типа степень десорбции целесообразно ограничить 96...97% с тем, чтобы количество полок не превышало четырех-пяти. При этом для подачи воздуха можно применять центробежные вентиляторы среднего давления.

Для удаления из воды метана или свободного сероводорода также можно рекомендовать пленочные дегазаторы, загруженные пластмассовыми или керамическими кольцами.

Наиболее полная дегазация достигается разбрызгиванием в вакууме с одновременным подогревом воды. На рис. 2.49 изображена схема установки для дегазации в вакууме с подогревом и без подогрева воды.

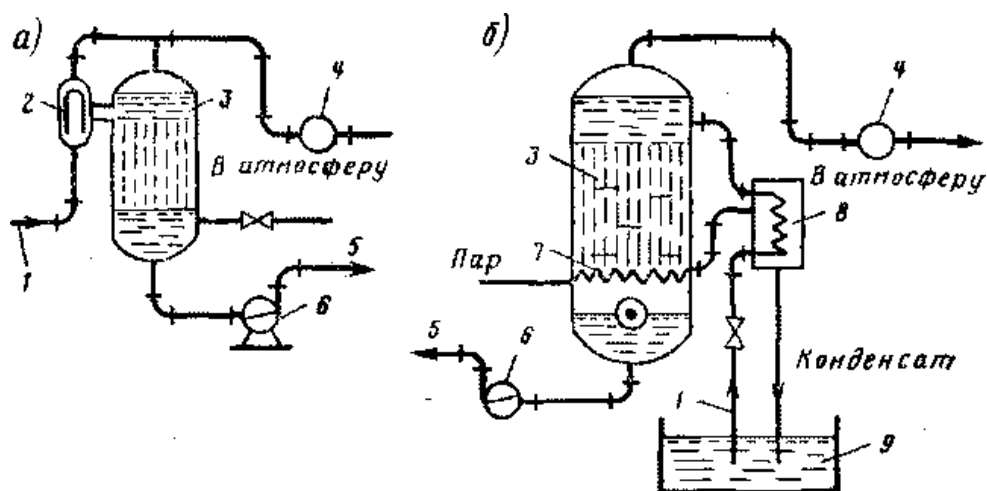


Рис. 2.49. Установки дегазации воды под вакуумом без подогрева (а) и с подогревом (б):

1 — подача исходной и отвод дегазированной воды; 2 — воздухоотделитель; 3 — котел; 4 — вакуум-насос; 6 — насос; 7 — подача пара; 8 — теплообменник; 9 — сборный бак

При проектировании дегазаторов для удаления из воды свободной углекислоты должны быть заданы параметры: расход воды; концентрация свободной углекислоты в воде, и желательное остаточное содержание свободной углекислоты в воде после дегазатора; наименьшая (расчетная) температура обрабатываемой воды.

Допустимые плотности орошения и расход воздуха при глубоком удалении диоксида углерода (до 2-3 мг/л) при исходной концентрации до 150 мг/л составляют $60 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$ и $15 \text{ м}^3/\text{м}^3$ воды (для дегазаторов с кольцами Рашига размером 25x25x3 мм). При подсчете напора, развиваемого вентилятором, сопротивление колец при этих параметрах можно принимать 30 мм вод. ст. на 1 м высоты загрузки.

Помимо площади поверхности насадки, нужно учитывать площадь внутренней поверхности самого аппарата, которая составляет около 7,5% от площади поверхности насадки.

Концентрация свободной углекислоты в воде, подлежащей дегазации, не всегда указывается в анализе. Ее можно определить следующим образом. При дегазации воды после Н-катионитовых фильтров суммарное количество углекислоты будет равно:

$$C_{\text{вх}} = 44J_{\text{к}} + C_{\text{нач}}, \quad (2.52)$$

где $J_{\text{к}}$ – карбонатная жесткость исходной воды, мг-экв/л; $C_{\text{нач}}$ – содержание свободной углекислоты в исходной воде, мг/л, определяемое по номограмме (рис. 2.50). Первый член формулы учитывает свободную углекислоту образующуюся при распаде бикарбонатов.

Номограмма составлена для плотного растворенного остатка воды 20 мг/л и при температуре ее 22 °С. При иных значениях температуры и плотного остатка

$$C_{\text{нач}} = C_{\text{ном}} \cdot \alpha \cdot \beta, \quad (2.53)$$

где $C_{\text{ном}}$ – содержание свободной углекислоты, найденное по номограмме; α – поправка на температуру; β – поправка на плотный растворенный остаток.

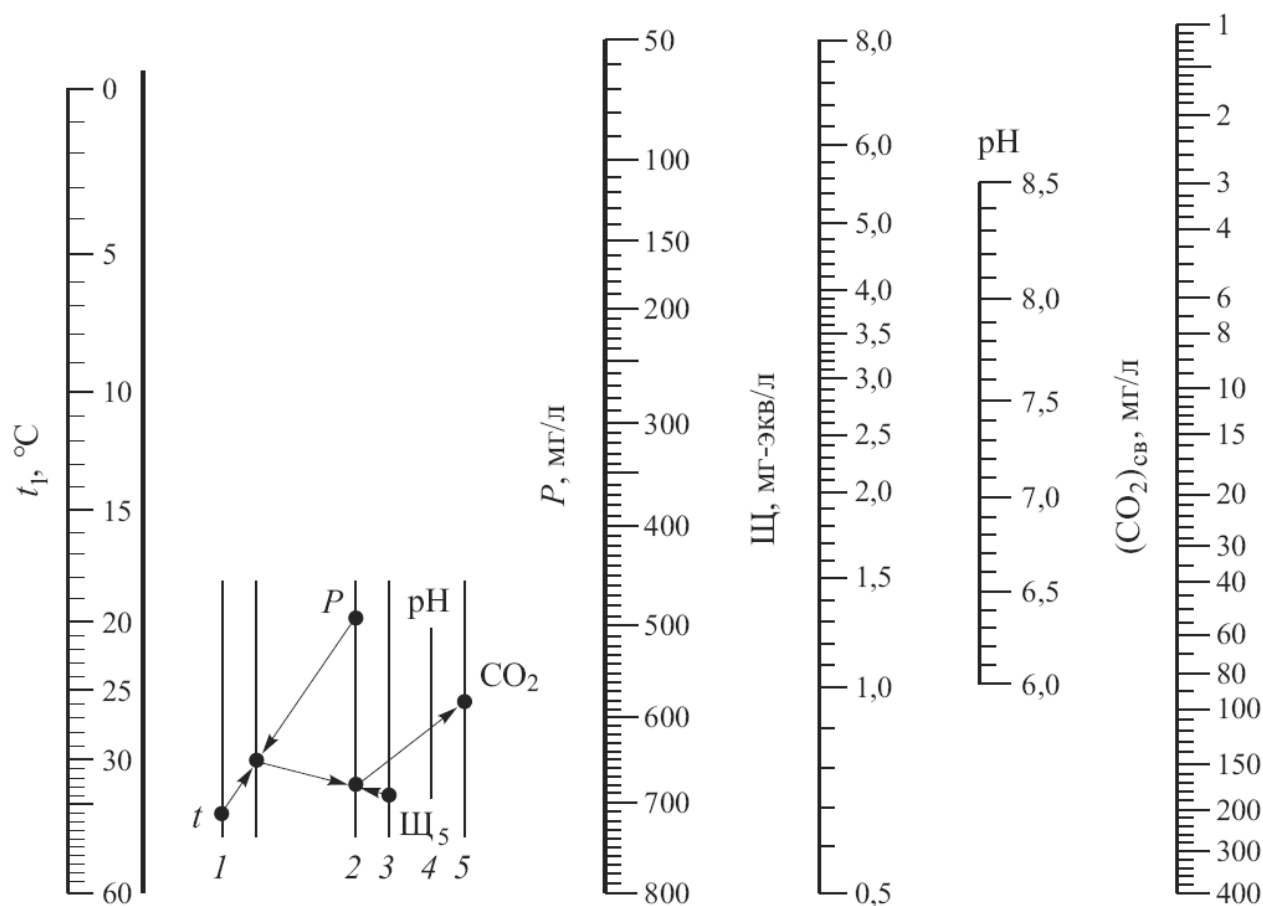


Рис. 2.50. Номограмма для определения содержания в воде свободной углекислоты.

При отсутствии в анализе данных о значении рН и щелочности воды концентрацию свободной углекислоты в исходной воде (в мг/л) можно ориентировочно определять по формуле:

$$C_{\text{нач}} = 0,268(J_{\text{к}})^3. \quad (2.54)$$

где $J_{\text{к}}$ – карбонатная жесткость воды, мг-экв/л.

При дегазации воды в цикле обезжелезивания воды аэрацией

$$C_{\text{вх}} = 1,57 C_{\text{Fe}} C_{\text{нач}}. \quad (2.55)$$

где C_{Fe} – содержание железа (II) в обезжелезиваемой воде, мг/л. Первый член формулы учитывает свободную углекислоту, выделяющуюся при гидролизе железа.

Для глубокого или частичного удаления оксида углерода (IV) (независимо от его начальной концентрации и производительности установки) и свободного сероводорода применяют дегазаторы с насадкой из колец Рашига и противотоком воды и воздуха, подаваемого вентилятором. Для удаления оксида углерода (IV) при производительности установки до 150 м³/ч и начальном его содержании не более 150 мг/л используют дегазаторы с деревянной хордовой насадкой или дегазаторы пенного типа. При глубоком удалении оксида углерода (IV) и производительности до 20 м³/ч применяют барботажные дегазаторы. В случае частичного удаления оксида углерода (IV) при производительности установки до 50 м³/ч используют струйно-пленочные (контактные) градирни, а для глубокого или частичного обескислороживания воды – вакуумные установки с насадкой из колец Рашига.

Выбор типа дегазатора определяется производительностью установки, необходимой полнотой дегазации, начальной концентрацией удаляемого газа и другими условиями.

Полное обескислороживание воды может быть достигнуто методом, предложенным П. А. Акользиным. Сущность его заключается в том, что эжектор, подающий воду, из которой необходимо удалить кислород, подсасывает предварительно обескислороженный воздух. Под влиянием

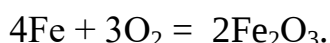
разности концентрации растворенный в воде кислород переходит из жидкой фазы в газообразную. Газ отделяется от воды в специальном десорбере и затем в сепараторе. Обескислороживание воздуха происходит в герметичном реакторе, загруженном древесным углем и омываемом топочными газами с температурой 500...800°C. Однако применение этого метода ограничивается тем, что для обескислороживания воздуха, подсасываемого эжектором, необходимы топочные газы высокой температуры, т. е. наличие котельной. Кроме того, в дегазаторе не удастся одновременно с обескислороживанием воды обеспечить необходимую степень удаления оксида углерода (IV).

2.3.3. Химические методы дегазации воды

В основе химических методов удаления из воды растворенных газов лежит их химическое связывание, достигаемое введением реагентов или фильтрованием через специальные загрузки. Для удаления из воды кислорода применяют ее фильтрование через легко окисляющиеся вещества, например, через стальные стружки, и обработку сульфитом натрия или оксидом серы (IV).

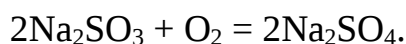
При использовании стальных стружек их обезжиривают и загружают в специальный фильтр, содержание марганца в них не должно превышать 0,3%.

В процессе фильтрования железо, окисляясь, связывает кислород



Оксид железа (III) и гидроксид железа (III), образовавшиеся в результате коррозии стружек, удаляют обратной промывкой. Продолжительность контакта воды со стружками зависит от температуры и уменьшается от 25 до 3 мин при увеличении температуры от 20 до 80°C.

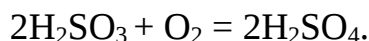
Чаще всего применяют обработку воды сульфитом натрия (для удаления 1 мг кислорода расходуется 7,9 мг сульфита натрия)



или оксидом серы (IV)

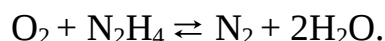


Образующаяся сернистая кислота окисляется кислородом, содержащимся в воде, до серной кислоты:



В качестве катализатора применяют соли меди (II) или кобальта (II) в виде 0,01%-ного раствора. Для удаления 1 мг кислорода расходуется 4 мг оксида серы (IV) или 7,9 мг сульфита натрия. Кроме того, для удаления кислорода воду обрабатывают также гидразином N_2H_4 .

Гидразин является сильным обескислороживающим реагентом:



Эта реакция протекает значительно быстрее, чем реакция окисления сульфита натрия. Катализаторами в данном случае являются металлическая медь, стекло и активированный уголь. Реакция обескислороживания воды гидразином каталитически ускоряется материалом стенок котла.

Гидразин применяют для обработки воды, идущей на питание прямоточных котлов, поскольку он не увеличивает количества сухого остатка питательной воды и не образует вредных летучих продуктов разложения. Недостатком метода обескислороживания воды гидразином является его высокая стоимость.

Эффективное обескислороживание воды может быть достигнуто в электролизерах с растворимыми железными или алюминиевыми электродами. Обескислороживание происходит за счет катодной и анодной деполяризации, а также химического окисления железа или алюминия растворенным в воде кислородом.

2.4. Удаление из воды кремниевой кислоты

Формы присутствия в воде кремниевой кислоты варьируются от коллоидной до ионнодисперсной в зависимости от ее температуры, pH и от соотношения различных примесей воды.

Воду, содержащую кремниевую кислоту, нельзя использовать для питания котлов высокого и сверхвысокого давления, в химико-фармацевтической промышленности, при производстве капрона и текстиля, при переработке цветных металлов, в питьевой воде содержание кремния также нормируется.

Обескремнивание воды достигается: осаждением известью; сорбцией гидроксидами железа, алюминия, оксидом или гидроксидом магния; фильтрованием через магнезиальный сорбент; ионным обменом и электрокоагулированием.

Обескремнивание воды известью основано на небольшой растворимости силиката кальция. При наличии в исходной воде 10...12 мг/л кремниевой кислоты остаточное содержание ее в обработанной воде составляет 6...8 мг/л. С избытком извести и повышением температуры глубина обескремнивания возрастает. Так, если подлежащую обескремниванию воду нагреть в каскадном подогревателе до температуры 80...90°C и насытить известью в сатураторе (рис. 2.51), то при этом выпадают в осадок гидроксид магния, сорбирующий SiO_3^{2-} , силикат и карбонат кальция. Вода обескремнивается и частично умягчается.

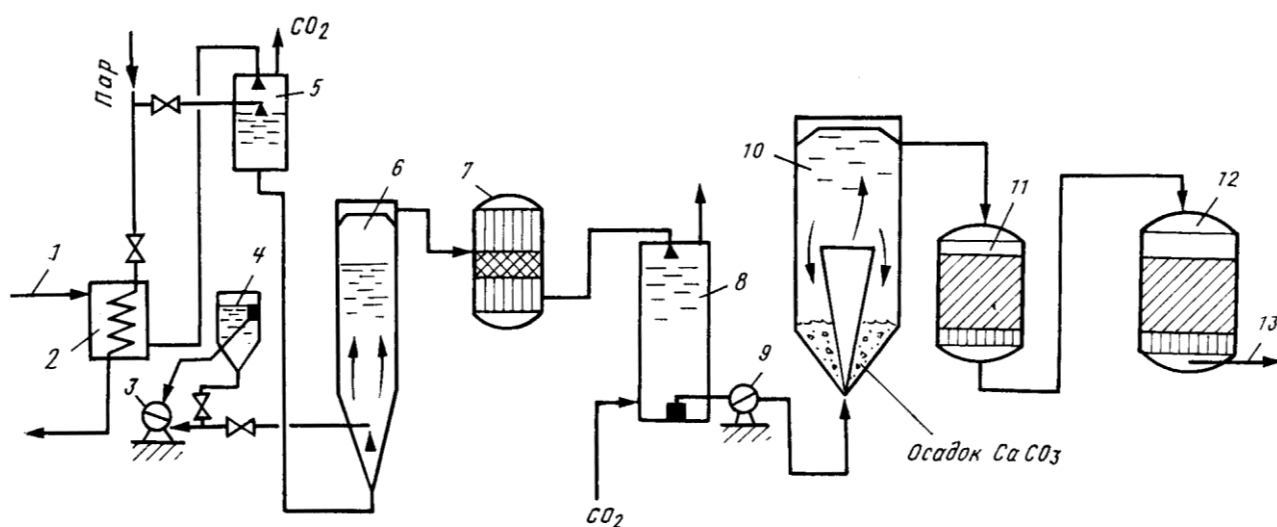


Рис. 2.51. Установка обескремнивания воды известью с подогревом:

1, 13 – подача исходной и отвод декремнизированной воды; 2 – теплообменник; 3 – насос-дозатор; 4 – бак известкового молока; 5 – дегазатор; 6 – сатуратор; 7 – фильтр с мраморной крошкой; 8 –

скруббер; 9 – повысительный насос; 10 – напорный осветлитель; 11 – фильтр с мраморной (или антрацитовой) крошкой; 12 – натрий-катионитовый фильтр с термостойким катионитом

Обескремнивание воды солями железа основано на способности хлопьев гидроксида железа (II), образующегося при введении в воду его солей, сорбировать молекулярно-дисперсную и коллоидную кремниевую кислоту.

Установка, используемая для обескремнивания воды сульфатом железа (II) или хлоридом железа (III), состоит из вертикального смесителя, дозаторов реагента и известкового молока, осветлителя, фильтра и насоса для рециркуляции осадка. Благодаря рециркуляции осадка значительно снижается расход коагулянта.

На снижение содержания кремниевой кислоты с 12...14 до 2 мг/л расходуется 300...350 мг сульфата железа (II). Оптимальные значения pH (8,5...9,5) поддерживаются добавлением в воду извести.

Обескремнивание воды солями алюминия основано на их способности сорбировать кремниевую кислоту из раствора. В качестве реагентов применяют алюминат натрия и сульфат алюминия.

Концентрация остаточной кремниевой кислоты при использовании алюмината натрия составляет 0,5...2 мг/л; расход алюмината – 150...200 мг/л. Применение вместо алюмината натрия более дешевого сульфата алюминия уменьшает глубину декарбонизации и увеличивает содержание сульфатов, что нежелательно для вод, идущих на питание паровых котлов.

Высокой сорбционной способностью по SiO_3^{2-} обладают *хлопья алюмината магния*, образующиеся при одновременном введении в воду солей магния и алюмината натрия при pH свыше 8,5. Для получения оптимального значения pH воду подщелачивают.

Перечисленные методы имеют недостатки, среди которых наиболее значительными являются большой расход и высокая стоимость реагентов, а также увеличение количества сухого остатка декремнизированной воды.

При *фильтрационном методе обескремнивания воды фильтры загружаются* магнезиальными сорбентами (*полуобожженным доломитом, а также специальным сорбентом, получаемым обработкой измельченного каустического магнезита соляной кислотой), активированным оксидом алюминия, бокситами.* Технология получения магнезиального сорбента следующая: смесь каустического магнезита с соляной кислотой или хлоридом магния, имеющую консистенцию теста, высушивают при температуре 80...100°C, измельчают и просеивают. Полученный магнезиальный сорбент представляет собой зерна светлосерого цвета крупностью 0,5...1,5 мм. Массовое отношение Mg/Cl в сорбенте примерно составляет 1,5:1, а его насыпная масса 0,75...0,85 т/м³. Сущность обескремнивания воды фильтрованием через такой сорбент заключается в образовании мало растворимого в воде силиката магния.

При высоте слоя сорбента в фильтре 3,4...4,0 м, температуре воды до 40...50°C и скорости фильтрования до 10 м/ч, содержание кремниевой кислоты в воде снижается до 0,1...0,3 мг/л. Один кубометр сорбента поглощает до полного истощения 90 кг SiO₂.

Недостаток метода заключается в необходимости через каждые шесть месяцев (при среднем содержании в исходной воде до 10 мг/л SiO₂) менять загрузку фильтра, поскольку сорбент не регенерируется.

Большой практический интерес представляет использование активированного оксида алюминия и бокситов в качестве загрузки обескремнивающего фильтра. При скорости фильтрования 5...6 м/ч слой сорбента толщиной 1,5 м снижает содержание кремниевой кислоты до 0,1...0,5 мг/л. Фильтр регенерируется 0,1%-ным раствором щелочи. За один цикл 1 м³ активированного оксида алюминия поглощает из воды 10...12 кг SiO₃²⁻. Большое преимущество фильтрационного метода заключается в компактности установок и простоте их обслуживания.

Анионитовый метод обескремнивания воды в цикле ионитового обессоливания с сильноосновными анионитами обеспечивает снижение концентрации кремнекислых соединений до 0,03...0,05 мг/л.

Сущность анионитового метода обескремнивания и одновременного обессоливания воды заключается в следующем: воду пропускают через Н-катионитовые фильтры, где из нее извлекаются катионы Ca(II) , Mg(II) , K(I) и Na(I) . Затем вода проходит через фильтры со слабоосновным анионитом, где она избавляется от анионов сильных кислот (SO_4^{2-} , Cl^- , NO_2^-). После дегазации воды для удаления из нее оксида углерода (IV) ее пропускают через фильтры с сильноосновным анионитом, где удаляется слабая кремниевая кислота. Для получения воды с общим содержанием соли менее 1 мг/л, в том числе с общим содержанием кремниевой кислоты менее 0,03 мг/л, применяют трехступенчатые схемы ионирования. К недостаткам этого метода следует отнести его сравнительно высокую стоимость, что объясняется большим расходом едкого натра на регенерацию и быстрым уменьшением в процессе эксплуатации кремнеемкости высокоосновных анионитов. Это вынуждает заменять их через каждые 1,5...2 года.

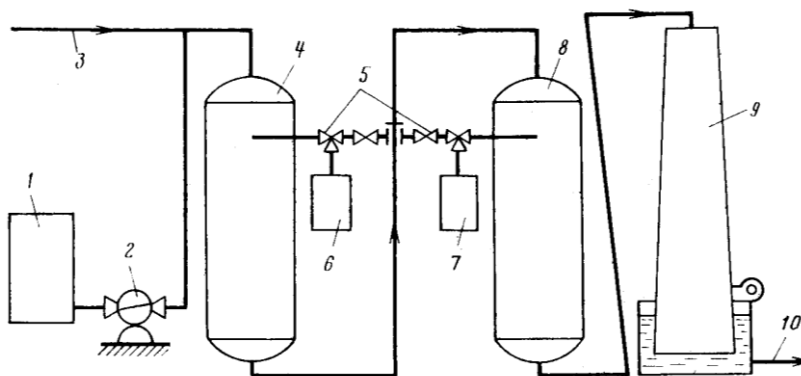
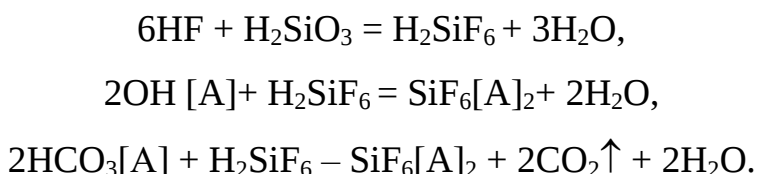


Рис. 2.52. Схема обескремнивания воды фторидным методом:

1 – бак с раствором фторида натрия; 2 – насос-дозатор; 3, 10 – подача исходной и отвод обессоленной и декремнизированной воды; 4 – водород-катионитовый фильтр; 5 – эжектор; 6, 7 – бак с раствором щелочи и серной кислоты; 8 – ОН-анионитовый фильтр; 9 – дегазатор

Фторидный метод обескремнивания воды (рис. 2.52) специальными реагентами дает возможность использовать слабоосновные аниониты. Этот метод состоит в том, что дозируемые в обрабатываемую воду плавиковая кислота или фторид натрия переводят кремниевую кислоту в сильную кремнефтористоводородную, которая достаточно полно поглощается слабоосновными анионитами:



В современных схемах водоподготовки для паровых котлов кремнекислота эффективно удаляется методом обратного осмоса.

2.5. Оценка коррупционных рисков в производственной деятельности при проектировании систем водоснабжения и водоотведения

2.5.1. Основные понятия и определения

Коррупционное правонарушение – злоупотребление служебным положением, дача взятки, получение взятки, злоупотребление полномочиями, коммерческий подкуп либо иное незаконное использование физическим лицом своего должностного положения вопреки законным интересам общества и государства в целях получения выгоды в виде денег, ценностей, иного имущества или услуг имущественного характера, иных имущественных прав для себя или для третьих лиц либо незаконное предоставление такой выгоды указанному лицу другими физическими лицами, а также совершение указанных деяний от имени или в интересах юридического лица.

Коррупционная схема – способ совершения коррупционного правонарушения; коррупционный риск – возможность совершения коррупционного правонарушения, возникающая в условиях наличия коррупциогенных факторов.

Коррупциогенные факторы – явление или совокупность явлений, объективные и субъективные предпосылки, порождающие коррупционные правонарушения или способствующие их распространению, а также положения нормативных правовых актов (проектов нормативных правовых актов), устанавливающие для правоприменителя необоснованно широкие пределы усмотрения или возможность необоснованного применения исключений из общих правил, а также положения, содержащие неопределенные, трудновыполнимые и (или) обременительные требования к гражданам и организациям и тем самым создающие условия для проявления коррупции.

Оценка коррупционного риска – процесс идентификации, анализа и оценивания коррупционного риска.

Анализ коррупционного риска – процесс определения происхождения коррупционного риска, в том числе наиболее вероятных способов совершения коррупционного правонарушения при реализации функции организации, а также определения уровня риска (комбинации возможности возникновения коррупционных правонарушений и их последствий).

2.5.2. Задачи и принципы оценки коррупционных рисков

Оценка коррупционных рисков относится к числу основных инструментов предупреждения коррупционных правонарушений в организациях и позволяет решить задачи по обеспечению соответствия реализуемых мер по противодействию коррупции реальным или вероятным способам совершения коррупционных правонарушений, тем самым увеличивая действенность антикоррупционных мероприятий, повышая эффективность использования выделяемых на них кадровых, финансовых и иных ресурсов; формирования обоснованного перечня должностей, замещение которых связано с коррупционными рисками.

Оценку коррупционных рисков в целях подготовки карт коррупционных рисков рекомендуется проводить в соответствии со следующими основными принципами.

Полнота. Коррупционные риски могут возникать при реализации любой административной процедуры (действия). В связи с этим необходимо учитывать, что применение подхода, при котором из общего числа процедур (действий) в организации заранее выделяется перечень коррупционно-опасных функций, имеет существенные недостатки. Соблюдение принципа полноты позволяет значительно сократить вероятность того, что отдельные административные процедуры (действия), при реализации которых возможно возникновение коррупционного риска, будут проигнорированы, поскольку изначально они не признаны коррупционно-опасными.

Рациональное распределение ресурсов. Оценку коррупционных рисков следует проводить, учитывая возможности кадровых, финансовых и иных ресурсов организации для ее реализации.

Всесторонность определения коррупционных рисков. Определение состава потенциальных коррупционных правонарушений и анализ вероятных способов их совершения (коррупционных схем), позволяет разработать наиболее эффективные меры предупреждения коррупции в организации.

Взаимосвязь результатов оценки коррупционных рисков с проводимыми антикоррупционными мероприятиями. Результаты оценки коррупционных рисков являются основой для определения перечня должностей замещение, которых связано с коррупционными рисками.

Своевременность и регулярность оценки коррупционных рисков. Проводить оценку коррупционных рисков целесообразно на системной основе. Углубленную оценку коррупционных рисков рекомендуется проводить раз в 2-3 года и (или) при любом существенном изменении регулирующего законодательства, организационно-штатной структуры, выявлении

коррупционных правонарушений и иных факторов, свидетельствующих о возможности возникновения коррупционных рисков.

Раз в год целесообразно проводить текущую оценку коррупционных рисков, предполагающую анализ функций организации, связанных с коррупционными рисками, на предмет необходимости принятия дополнительных мер, направленных на минимизацию выявленных рисков.

Законность. Оценка коррупционных рисков основывается на принципе законности на всех этапах оценки.

Гласность. Организация размещает информацию о результатах оценки коррупционных рисков на своем официальном сайте в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» в разделе «Противодействие коррупции» с учетом требований законодательства Российской Федерации. Для информации о проведении оценки коррупционных рисков целесообразно выделить отдельный подраздел в разделе «Противодействие коррупции».

Привлечение заинтересованных сторон. Процесс оценки коррупционных рисков предполагает участие и учет мнения всех заинтересованных сторон (институты гражданского общества, эксперты и др.).

2.5.3. Порядок и этапы оценки коррупционных рисков

Процедура оценки коррупционных рисков состоит из нескольких последовательных этапов. Схема проведения оценки коррупционных рисков приведена на рис. 2.53.

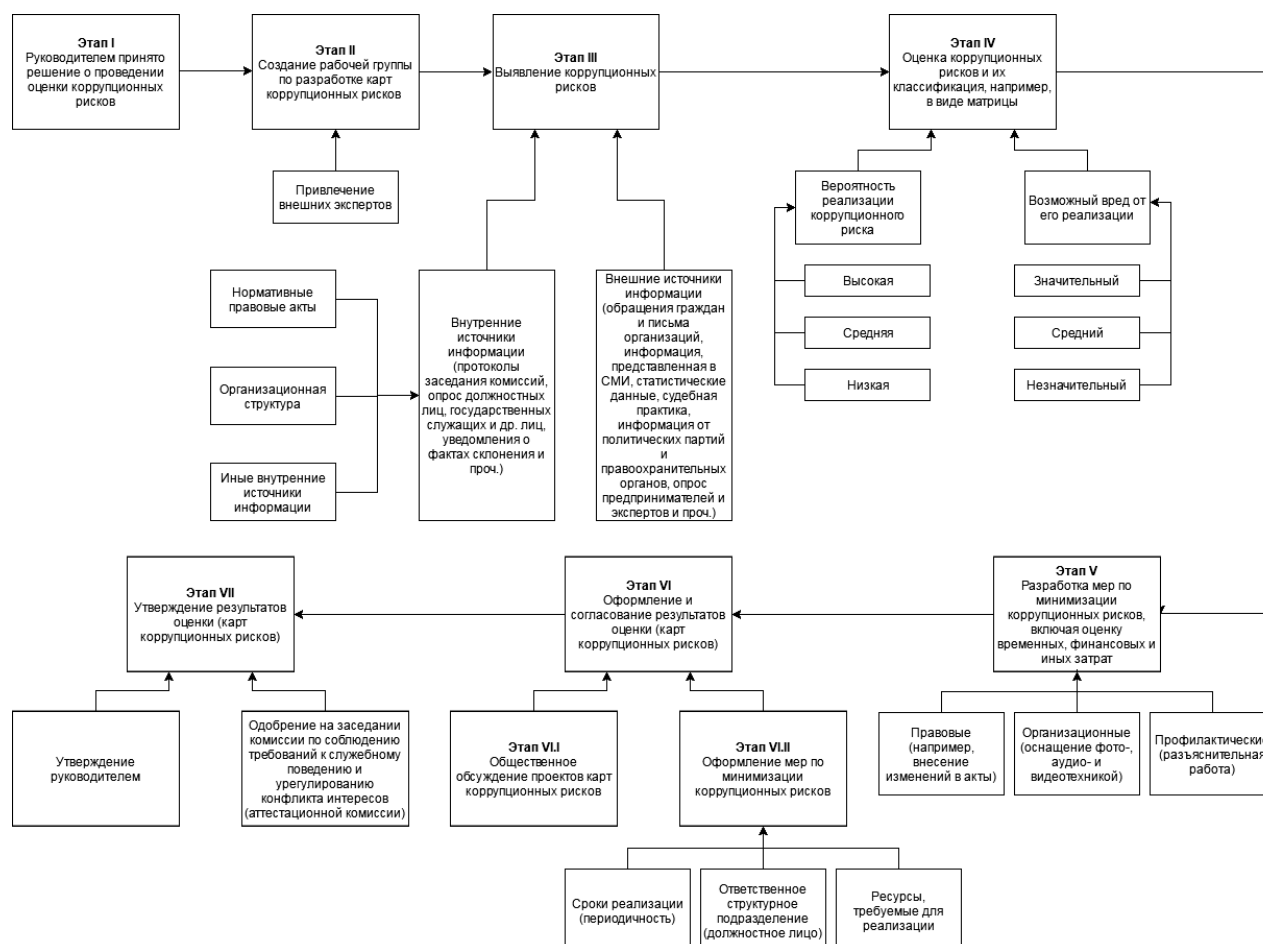


Рис. 4.53. Схема проведения оценки коррупционных рисков.

2.5.4. Выявление коррупционных рисков

Наличие коррупциогенного фактора является признаком коррупционного риска. К числу коррупциогенных факторов, например, относятся:

- возможность получения служащим (работником) в результате совершения коррупционного правонарушения значительной, по сравнению с его доходом, материальной выгоды или возможность получения регулярного незаконного дохода при неоднократной реализации одной и той же коррупционной схемы;
- возможность реализации потенциальной коррупционной схемы без значительных усилий, в том числе:
- узкий круг служащих (работников), участие которых необходимо для реализации коррупционной схемы;

- многочисленные зафиксированные факты реализации коррупционной схемы;
- отсутствие или неэффективность механизмов внутреннего контроля, в том числе:
 - наличие «слепых зон» – отсутствие контроля за отдельными административными процедурами (действиями) либо их этапами, важными для реализации потенциальной коррупционной схемы;
 - отсутствие *регулярного* контроля за деятельностью служащих (работников), осуществление контроля только в форме эпизодических проверок, ревизий и т.п.;
 - объективные трудности осуществления контроля, например, необходимость обработки в рамках контроля больших объемов быстро меняющейся информации;
 - объем дискреционных полномочий служащего (работника), принимающего решение, и недостаточная регламентация процесса, в том числе:
 - отсутствие четких критериев выбора одного из альтернативных решений;
 - отсутствие сроков совершения действия;
 - открытый перечень документов, которые могут быть истребованы для совершения действия;
 - отсутствие эффективных каналов подачи и механизмов рассмотрения жалоб на действия служащего (работника).

Выявлению коррупциогенных факторов способствует анализ различного рода информации, поступающей как из внутренних источников, так и из внешних источников.

К *внутренним источникам* информации относятся следующие:

- нормативные правовые акты (при анализе нормативных правовых актов необходимо, в частности, оценить положения,

касающиеся функций органа (организации), связанные с коррупционными рисками);

- локальные нормативные акты (анализ организационной структуры организации, в том числе должностных (служебных) обязанностей при осуществлении административных процедур (действий));

- иные внутренние источники, к которым можно отнести, например, протоколы заседания комиссии по соблюдению требований к служебному поведению и урегулированию конфликта интересов (аттестационной комиссии), материалы служебных проверок, результаты опроса уполномоченных должностных лиц, служащих (работников), уведомления представителя нанимателя о фактах обращения в целях склонения служащего (работника) к совершению коррупционных правонарушений и др.

Для получения информации, необходимой для проведения оценки коррупционных рисков, рекомендуется сформировать перечень локальных нормативных актов и иных документов организации.

К таким документам относятся документы, содержащие информацию о направлениях деятельности (функциях) и структуре организации, полномочиях его подразделений и должностных (служебных) обязанностях служащих (работников), например:

- положение об органе (организации); организационно-штатная структура и штатное расписание;
- положения о подразделениях организации;
- должностные регламенты;
- результаты внутреннего и (или) внешнего анализа структуры, функционала и иные значимые документы.

К *внешним источникам* информации можно отнести следующие:

- результаты опроса подконтрольных субъектов, получателей услуг, экспертов, представителей институтов гражданского общества и иных заинтересованных лиц;
- социологические исследования, проводимые органом (организацией) или сторонними исследовательскими организациями;
- статистические данные о правонарушениях в сфере деятельности организации;
- обращения граждан и организаций, содержащие информацию о коррупционных правонарушениях, в том числе обращения, поступившие на «горячую линию», «электронную приемную» и т.д.;
- сообщения в СМИ о коррупционных правонарушениях или фактах несоблюдения служащими (работниками) требований к служебному поведению;
- материалы, представленные правоохранительными органами, иными органами (организациями) и их должностными лицами, включая акты прокурорского реагирования, материалы уголовных дел, материалы, представляемые органами следствия и др.;
- материалы, представленные постоянно действующими руководящими органами политических партий и зарегистрированных в соответствии с законом иных общероссийских общественных объединений, не являющихся политическими партиями, Общественной палатой Российской Федерации, институтами гражданского общества и из других источников.

Опрос целесообразно проводить по мере необходимости, но не реже одного раза в год.

Целью проведения опроса является выявление коррупционных рисков.

Задачами опроса являются следующие:

- определение сфер деятельности организации с высокими коррупционными рисками;

- выявление причин и условий, способствующих коррупционным проявлениям; оценка влияния реализации антикоррупционных мер;

- выявление ключевых направлений повышений эффективности деятельности органов (организаций) по противодействию коррупции, упреждению возможностей возникновения и действия коррупциогенных факторов и формирования антикоррупционного общественного мнения;

- прогнозирование возможного развития коррупционной обстановки.

Рабочей группой:

- разрабатывается анкета для проведения опроса;
- проводится оценка результатов опроса;
- осуществляется подготовка сводного отчета о результатах проведения опроса;
- осуществляется выработка на основе результатов опроса предложений по повышению эффективности деятельности в сфере противодействия коррупции.

Анкету целесообразно разместить на официальном сайте организации в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» в подразделе, посвященном вопросам противодействия коррупции. На главной странице целесообразно разместить отдельную гиперссылку на данный подраздел.

На основании проведенного анализа внутренних и внешних источников информации, а также выявленных коррупциогенных факторов составляется перечень коррупционных рисков.

Результаты работы по проведению опроса представляются руководителю (уполномоченному должностному лицу) организации и размещаются на официальном сайте организации в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» в разделе «Противодействие коррупции».

2.5.5. Оценка и классификация коррупционных рисков

В целях рационального расходования ресурсов возможно выделение отдельных наиболее коррупционнoемких административных процедур (действий), в отношении которых меры по минимизации коррупционных рисков будут реализованы в первую очередь. Для этого следует оценить коррупционные риски с точки зрения их значимости для организации, государства и общества.

Значимость коррупционных рисков определяется сочетанием рассчитанных параметров: вероятности реализации коррупционного риска (вероятность) и возможного вреда от его реализации (вред).

Вероятность реализации коррупционного риска определяется, в первую очередь, характеристикой и количеством коррупциогенных факторов, т.е. обстоятельств, увеличивающих вероятность совершения коррупционных правонарушений.

В зависимости от вероятности возникновения риск может быть:

незначительной вероятности возникновения (низкая вероятность) – риск может возникнуть в чрезвычайных обстоятельствах или маловероятен; средней вероятности возникновения (средняя вероятность) – риск может возникнуть при определенном стечении обстоятельств; повышенной вероятности возникновения (высокая вероятность) – риск ожидаем при нормальном развитии событий.

Необходимо оценить возможный вред от реализации коррупционного риска. При этом приоритетное внимание рекомендуется уделить следующим видам вреда (ущерба):

- вред жизни и здоровью граждан; вред национальной безопасности и обороноспособности государства;
- вред окружающей среде; материальный ущерб;

– репутационный ущерб органу (организации), резонансные судебные разбирательства, многочисленные жалобы и претензии со стороны граждан и организаций.

В зависимости от эффекта риски могут быть следующими:

– незначительный – риск незначительно влияет на охраняемые законом ценности; умеренный – риск, который, если не будет пресечен, может значительно повлиять на охраняемые законом ценности;

– значительный – риск, последствия которого могут повлечь значительные финансовые убытки, помешать успеху деятельности или эффективному функционированию организации, государства и общества.

В случае если реализация коррупционного риска может повлечь вред жизни и здоровью граждан, нанести ущерб национальной безопасности и обороноспособности государства и (или) окружающей среде, такой потенциальный вред следует оценивать как значительный.

Одним из возможных способов оценки значимости коррупционного риска является использование матрицы оценки значимости рисков. При этом все риски по степени своей значимости разделяются на критические, существенные и незначительные. Базовый вариант такой матрицы представлен в таблице 2.9.

Таблица 2.9.

Матрица оценки значимости коррупционных рисков

Потенциальный вред	Вероятность реализации коррупционного риска		
	Высокая	Средняя	Низкая
Значительный	Критический риск	Существенный риск	Существенный риск
Умеренный	Существенный риск	Существенный риск	Незначительный риск
Незначительный	Существенный риск	Незначительный риск	Незначительный риск

Результаты работы по оценке и классификации коррупционных рисков представляются руководителю (уполномоченному должностному лицу) организации.

2.5.6. Разработка мер по минимизации выявленных коррупционных рисков

Этап разработки мер по минимизации коррупционных рисков – подготовка предложений по минимизации всех или наиболее существенных идентифицированных коррупционных рисков.

Минимизация коррупционных рисков либо их устранение достигается различными методами, которые можно подразделить на следующие виды: правовые; организационные; профилактические.

При подготовке предложений по минимизации коррупционных рисков в федеральных государственных органах, осуществляющих контрольно-надзорные полномочия, целесообразно учесть мероприятия, предусмотренные паспортом приоритетной программы «Реформа контрольной и надзорной деятельности», утвержденном президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и приоритетным проектам (протокол от 21 декабря 2016 года № 12), а также паспортами приоритетных проектов Минэкономразвития России, Минкомсвязи России, Минтруда России и Минюста России.

К таким мероприятиям можно отнести следующие:

- использование проверочных листов;
- актуализация и оптимизация обязательных требований; установление исчерпывающих перечней нормативных правовых актов, содержащих обязательные требования;
- обеспечение доступности и понятности информации о подконтрольных объектах;

- формирование системы сбора объективных данных для определения категории риска (класса опасности);
- использование механизма профилактики нарушений обязательных требований;
- использование информационно-коммуникационных технологий и другие мероприятия, снижающие усмотрение должностных лиц при принятии управленческих решений, а также повышающие эффективность контроля за их деятельностью.

В качестве установления препятствий (ограничений), затрудняющих реализацию коррупционных схем, предлагается применять следующие меры:

- проверка наличия возможной аффилированности между подконтрольным субъектом и служащими (работниками), проводимая уполномоченным подразделением организации (в частности, с использованием информационно-коммуникационных технологий);
- перераспределение функций между подразделениями внутри организации;
- введение или расширение процессуальных форм взаимодействия граждан (юридических лиц) и должностных лиц, например, использование информационных технологий в качестве приоритетного направления для осуществления служебной деятельности («одно окно», система электронного обмена информацией);
- исключение необходимости личного взаимодействия (общения) должностных лиц с гражданами и юридическими лицами;
- совершенствование механизма отбора должностных лиц для включения в состав комиссий, рабочих групп, принимающих управленческие решения;
- оптимизация перечня документов (материалов, информации), которые граждане (юридические лица) обязаны предоставить для реализации права;

- сокращение сроков принятия управленческих решений;
- установление регламентации способа и сроков совершения действий должностным лицом при осуществлении коррупционно-опасной функции;
- установление дополнительных форм отчетности должностных лиц о результатах принятых решений. использование средств видеонаблюдения и аудиозаписи в местах приема граждан и представителей юридических лиц;
- сокращение ситуаций единоличного принятия решений;
- проведения разъяснительной и иной профилактической работы для существенного снижения возможностей коррупционного поведения при исполнении коррупционно-опасных функций;
- обеспечение повседневного контроля за соблюдением служащими (работниками) этических норм поведения.

Для каждого выявленного коррупционного риска должны быть определены возможные меры по минимизации соответствующих коррупционных рисков. При этом необходимо оценить объем финансовых затрат на реализацию этих мер, а также потребность в кадровых и иных ресурсах, необходимых для проведения соответствующих мероприятий.

В случае невозможности или экономической нецелесообразности одновременной реализации мер по минимизации всех выявленных коррупционных рисков необходимо, в первую очередь, реализовать меры по минимизации существенных коррупционных рисков.

При определении мер по минимизации коррупционных рисков целесообразно руководствоваться следующим:

- каждую меру необходимо сформулировать конкретно, служащие (работники), вовлеченные в процесс ее реализации, должны понимать ее цели и содержание, конечный результат и его связь с минимизацией конкретного коррупционного риска;

- для каждой меры должен быть установлен срок или периодичность ее реализации;
- для каждой меры должен быть определен ответственный за ее реализацию;
- на стадии планирования мер по минимизации коррупционных рисков должны быть проработаны механизмы мониторинга реализации этих мер и оценки их эффективности;
- реализация каждой меры должна быть подтверждена документально.

Меры по минимизации выявленных коррупционных рисков после их утверждения или одобрения целесообразно включить в ведомственный план противодействия коррупции.

Результаты работы по разработке мер по минимизации выявленных коррупционных рисков представляются руководителю (уполномоченному должностному лицу) организации.

2.5.7. Мониторинг реализации мер по минимизации выявленных коррупционных рисков

Мониторинг реализации мер по минимизации выявленных коррупционных рисков проводится рабочей группой в целях оценки эффективности реализуемых мер по минимизации выявленных коррупционных рисков.

Мониторинг целесообразно проводить не реже одного раз в полгода, а также по мере необходимости.

Доклад о результатах мониторинга целесообразно представлять руководителю (уполномоченному должностному лицу) организации.

Результаты проведенного мониторинга могут являться основанием для повторного проведения оценки коррупционных рисков или для внесения изменения в карту коррупционных рисков.

РАЗДЕЛ 3. ВОДООТВОДЯЩИЕ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Введение

Одним из важнейших природных феноменов, без которого невозможна биологическая жизнь на суше, является пресная вода. В то же время именно пресная вода используется в большинстве технологических процессов строительства, промышленного и аграрного производства, превращаясь в потоки сточных вод, наносящих ущерб окружающей среде. Это обстоятельство обуславливает высокую ответственность общества за использование и сохранность водных ресурсов.

Законом Российской Федерации "Об охране окружающей среды" определено, что основой устойчивого развития, жизни и деятельности народов Российской Федерации является право каждого на благоприятную окружающую среду и обязанность бережного отношения к природным богатствам.

Данные экологических мониторингов, проводимых в России и за рубежом, свидетельствуют о том, что в районах с развитой производственной и социально-бытовой деятельностью природные воды продолжают загрязняться веществами техногенного происхождения, причем это относится как к поверхностным, так и к подземным водам. Проблема обостряется увеличением доли стойких органических веществ, источниками которых являются производственные сточные воды.

Дезактуализация этой проблемы находится в области практического решения двуединой задачи - уменьшение сброса загрязняющих веществ со сточными водами и уменьшение их массы при формировании сточных вод.

Первая часть задачи относится к совершенствованию процессов глубокой локальной очистки производственных сточных вод. Вторая – к технологиям восстановления и многократного использования в производстве технологических водных растворов. Решение этих задач зависит от структуры

водного хозяйства промышленного предприятия, возможности организации рационального водообеспечения технологических процессов, совершенства систем очистки сточных вод, условий присоединения к коммунальным системам водоотведения или сброса в водный объект, наличия достаточной территории и много другого.

Сточные воды промышленных предприятий чрезвычайно различаются по количеству, составу и свойствам. Это обуславливает необходимость применения специальных технологических процессов, методов и сооружений для их предварительной, локальной или полной очистки, практически, в каждом конкретном случае. Кроме этого, в условиях конкурентной экономики возможно частичное или полное перепрофилирование действующего предприятия и, соответственно, существенные изменения в системе водного хозяйства и показателях сточных вод. Как результат - снижение эффективности существующих локальных очистных сооружений предприятий. С другой стороны, предприятие является абонентом в системе использования водных ресурсов и регулирования водопользования.

Тема 3.1. Нормативное обеспечение проектирования систем водоотведения промышленных предприятий

Проектирование систем водоотведения промышленных предприятий осуществляется в соответствии с нормативными документами, определяющими порядок водопотребления, использования и отведения сточных вод. Современной основой нормативной базы проектирования систем водоотведения вообще и промышленных предприятий, в частности являются:

Федеральный закон "Об охране окружающей среды", от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 31.12.2017) и Федеральный закон "О водоснабжении и водоотведении", от 07.12.2011 № 416-ФЗ.

Порядок проектирования и эксплуатации систем водоотведения промышленного объекта определяется его местом в региональной системе водопользования и водоотведения и регулируется следующими правоустанавливающими актами:

Постановление Правительства Российской Федерации "Об утверждении Правил пользования системами коммунального водоснабжения и канализации в Российской Федерации", от 12.02.1999 № 167 (с изменениями на 14 октября 2015 года);

Постановление Правительства Российской Федерации от 29.07.2013 № 644 "Об утверждении правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации" (в редакции на 29 июня 2017 года);

Постановление Правительства Российской Федерации от 3 ноября 2016 года № 1134. – «О вопросах осуществления холодного водоснабжения и водоотведения» (введено в действие с 1 января 2017 года);

Постановление Правительства Российской Федерации от 13.02.2006 № 83 (с изменениями на 19 июня 2017 года) "Об утверждении Правил определения и предоставления технических условий подключения объекта капитального строительства к сетям инженерно-технического обеспечения и Правил подключения объекта капитального строительства к сетям инженерно-технического обеспечения".

При разработке проекта системы водного хозяйства предприятий необходимо соблюдать принципы рационального использования воды, минимизации сброса сточных вод, минимизации экологического ущерба от сброса сточных вод.

3.1.1. Нормативы проектирования систем водоотведения промышленных предприятий

Разработка проекта систем водоотведения предприятия начинается с выбора системы и схемы водного хозяйства. Проектирование осуществляют в

соответствии с «СП 32.13330.2018 Канализация. Наружные сети и сооружения. СНиП 2.04.03-85.»

При выборе схемы водоотведения промышленных предприятий необходимо учитывать:

- возможность сокращения объемов загрязненных сточных вод, образующихся в технологических процессах за счет внедрения безотходных и безводных производств, устройства замкнутых систем водного хозяйства, применения воздушных методов охлаждения и т.п.;

- возможность локальной очистки потоков сточных вод с целью извлечения отдельных компонентов;

- возможность последовательного использования воды в различных технологических процессах с различными требованиями к ее качеству;

- условия выпуска производственных сточных вод в водные объекты или в централизованную систему водоотведения поселения, городского округа или другого водопользователя, которые определяются действующим природоохранным законодательством, а также нормативными правовыми актами в сфере водоснабжения и водоотведения, регулирующими отношения между организациями, осуществляющими водоснабжение и водоотведение, и их абонентами;

- условия удаления и использования осадков и отходов, образующихся при очистке сточных вод.

Объединение потоков производственных сточных вод с различными загрязняющими веществами, в отношении которых применяются меры государственного регулирования, допускается при целесообразности их совместной очистки. При этом необходимо учитывать возможность протекания в коммуникациях химических процессов с образованием газообразных или твердых продуктов.

При присоединении канализационных сетей абонентов, не относящихся к жилому фонду, к централизованным системам водоотведения поселений,

городских округов следует предусматривать выпуски с контрольными колодцами.

Необходимо предусматривать устройства для измерения расхода сбрасываемых сточных вод от каждого предприятия, если абонент имеет существенно разомкнутый водный баланс, как минимум, в следующих случаях:

- если абонент не подключен к централизованной системе водоснабжения, либо имеет (или может иметь) водоснабжение из нескольких источников;

- если в ходе производственного процесса добавляется, либо изымается свыше 5% расхода воды, потребляемого из водопровода.

Объединение производственных сточных вод нескольких предприятий допускается после контрольного колодца каждого предприятия.

Запрещается производить сброс в централизованные системы водоотведения веществ, материалов, отходов и сточных вод, запрещенных к сбросу в централизованные системы водоотведения (см. табл.3.2).

Значения показателей общих свойств сточных вод и концентраций загрязняющих веществ в сточных водах не должны превышать максимальные допустимые значения нормативных показателей общих свойств сточных вод и концентраций загрязняющих веществ в сточных водах, установленные в целях предотвращения негативного воздействия на работу централизованных систем водоотведения (см. табл.3.1).

Планировочные отметки площадок канализационных сооружений и насосных станций, размещаемых на прибрежных участках водотоков и водоемов, следует принимать не менее чем на 0,5 м выше максимального горизонта паводковых вод с обеспеченностью 3 % с учетом ветрового нагона воды и высоты наката ветровой волны, определяемой согласно СП 38.13330.

Территория очистных сооружений водоотведения поселений и городских округов, а также промышленных предприятий, располагаемых за пределами

промышленных площадок, во всех случаях должна быть ограждена. Тип ограждения необходимо выбирать с учетом местных условий.

В необходимых случаях для отдельных сооружений следует предусматривать ограждения в соответствии с правилами техники безопасности. Поля фильтрации и поглощения допускается не ограждать.

Объемно-планировочные и конструктивные решения зданий и сооружений систем водоотведения следует выполнять согласно СП 44.13330, СП 31.13330.

Здания и сооружения системы водоотведения, канализационные сети как объекты жизнеобеспечения поселений и городских округов необходимо относить к классу сооружений повышенного уровня ответственности КС-3 (по классификации ГОСТ 27751) и принимать степень огнестойкости не ниже II (по классификации СП 112.13330). Для отдельных зданий и сооружений допускается устанавливать класс ответственности КС-2 в том случае, если на них не предусматривается постоянных рабочих мест.

Иловые площадки, поля фильтрации и биологические пруды следует относить к классу ответственности КС-1.

3.1.2. Порядок разработки и состав проектной и рабочей документации систем водоотведения промышленного объекта

При проектировании объектов системы водоотведения промышленных предприятий установлен следующий порядок действий:

1. Получение технических условий;
2. Составление технического задания;
3. Заключение договора на проектирование;
4. Разработка проектной документации;
5. Получение положительного заключения экспертизы;
6. Разработка рабочей документации;
7. Согласование рабочей документации.

Проектная документация для сети канализации промышленного здания выполняется в строгом соответствии с *Постановлением Правительства РФ от 16 февраля 2008 года №87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию»* (с изменениями на 6 июля 2019 года).

В текстовой части должны содержаться:

- ✓ сведения о существующих и проектируемых системах канализации, водоотведения и станциях очистки сточных вод;
- ✓ обоснование принятых систем сбора и отвода сточных вод, объема сточных вод, концентраций их загрязнений, способов предварительной очистки, применяемых реагентов, оборудования и аппаратуры;
- ✓ обоснование принятого порядка сбора, утилизации и захоронения отходов - для объектов производственного назначения;
- ✓ описание и обоснование схемы прокладки канализационных трубопроводов, описание участков прокладки напорных трубопроводов (при наличии), условия их прокладки, оборудование, сведения о материале трубопроводов и колодцев, способы их защиты от агрессивного воздействия грунтов и грунтовых вод;
- ✓ решения в отношении ливневой канализации и расчетного объема дождевых стоков;
- ✓ решения по сбору и отводу дренажных вод;

Графическая часть должна содержать:

- ✓ принципиальные схемы систем водоотведения объекта капитального строительства;
- ✓ принципиальные схемы прокладки наружных сетей водоотведения, ливнестоков и дренажных вод;
- ✓ план сетей водоотведения;
- ✓ план расположения сооружений водоотведения.

Рабочая документация проекта водоотведения промышленного объекта

Рабочая документация для сетей канализации промышленного здания выполняется в соответствии с ГОСТ-ами на оформление рабочей документации сети канализации.

Проект внутренней канализации промышленного здания:

- общие данные;
- планы сети внутренней канализации;
- схемы сети внутренней канализации;
- спецификация оборудования и материалов.

Проект наружной сети водоотведения промышленного объекта:

- общие данные;
- планы сети водоотведения;
- профили сети водоотведения;
- схемы напорных сетей водоотведения;
- таблица канализационных колодцев;
- спецификация оборудования и материалов.

3.1.3. Виды сточных вод промышленных предприятий

Понятие «сточные воды» неразрывно связано с использованием воды. Вода и её свойства используются человеком в самом разном качестве. Прежде всего, как вещество, необходимое для поддержания жизни, как универсальный растворитель, как носитель тепловой энергии, как транспортирующая среда и еще для очень многих целей. При этом изменяются первоначальные состав и свойства воды, в результате чего, она становится непригодной для целевого использования и ее сбрасывают, заменяя свежей.

Количество сточных вод предприятий зависит от технологической потребности в воде, полноты использования ее целевых свойств, совершенства систем их восстановления, режима работы и много другого.

Несмотря на разнообразие промышленных производств и особенности отдельных предприятий, формирование общего потока сточных вод основано на одинаковых источниках.

Промышленные сточные воды представляют собой несколько видов характерных потоков сточных вод в различном объемном соотношении. Обобщенная структура потоков сточных вод промышленного предприятия приведена на рисунке 3.2.

Поток производственных сточных вод включает загрязненные технологические, энергетические и прочие воды, неиспользуемые непосредственно в технологических процессах. В структуру потока технологических сточных вод входят отработанные технологические растворы, разные виды промывных вод. Соотношение этих потоков обуславливается профилем и технологией производства.

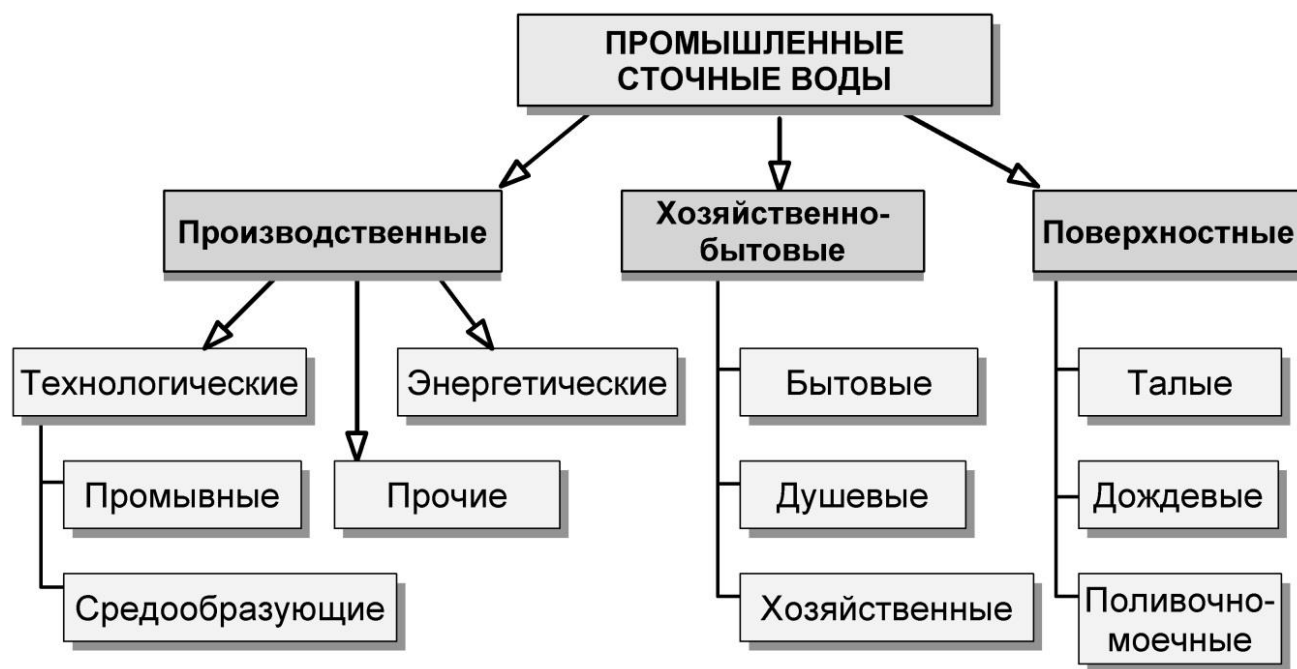


Рис. 3.2. Структура основных потоков сточных вод промышленного предприятия.

Энергетические сточные воды поступают от систем получения пара, систем отопления и нагрева воды, охлаждения тепловыделяющего оборудования. В общем случае, энергетические сточные воды двух видов: требующие специальной очистки и воды, сбрасываемые без специальной очистки. К энергетическим водам, сбрасываемым после специальной очистки относят: замасленные и замазученные воды систем прямоточного водоснабжения энергетических установок; золо- и шламсодержащие воды котельных установок; регенерационные воды химводоочисток.

Без специальной очистки сбрасывают нагретые охлаждающие воды, в системах прямоточного водоснабжения, продувочные воды систем оборотного водоснабжения с градирнями.

Количество и показатели прочих непроизводственных сточных вод обуславливается вспомогательной инфраструктурой предприятия. Во многих случаях эта часть предприятий также представляет собой производства, существенно отличающиеся от основного. Например, инструментальные, ремонтно-восстановительные, транспортные и другие участки.

Поток хозяйственно-бытовых сточных вод предприятия обуславливается видом и условиями производства, количеством работающих, наличием на предприятии вспомогательных производств сферы обслуживания и общественного питания. Количество и режим отведения хозяйственно-бытовых сточных вод определяется сбросами от санитарно-технических устройств и душевых, а также сбросами от вспомогательных производств.

Поверхностные сточные воды, образующиеся на территории предприятия, в зависимости от их количества и загрязненности могут быть выделены в отдельный поток с очистными сооружениями или объединяться с другими производственными сточными водами. Количество поверхностных сточных вод зависит от климатических условий, площади территории предприятия и состояния ее поверхности, а также от рельефа местности.

Промышленные сточные воды, условно, можно разделить на внутриплощадочные и внеплощадочные. Внутриплощадочные сточные воды, образующиеся на территории предприятия, в первую очередь, обусловлены технологией производственных процессов, объемом производства, структурой водного хозяйства и могут быть разнообразными даже для однопрофильных предприятий. Часть внутриплощадочных сточных вод может использоваться повторно без очистки или многократно в соответствии с технологическими требованиями. Оставшаяся часть - внеплощадочные сточные воды отводятся за пределы предприятия в централизованную систему водоотведения населенного места или в водоём при соблюдении соответствующих требований к их показателям. При этом, количество внеплощадочных сточных вод может быть существенно меньше количества воды, используемого в производстве.

Режим отведения промышленных сточных вод с территории предприятия зависит от системы использования воды в производстве и наличия в составе водного хозяйства очистных сооружений. Внеплощадочные промышленные сточные воды представляют наибольшую опасность водным ресурсам.

Общей задачей очистки внеплощадочных сточных вод предприятий является достижение показателей, установленных для условий приема в централизованные системы водоотведения или сброса их в водоём.

Тема 3.2. Системы и схемы водоотведения

3.2.1. Системы водоотведения промышленных предприятий

Системы водоотведения промышленных предприятий подразделяются на общесплавные и отдельные. Особенностью водоотведения предприятий является то, что на них могут образовываться до 5–10 различных видов потоков сточных вод, отличающихся по расходу, составу и свойствам загрязняющих веществ.

При выборе системы водоотведения необходимо учитывать следующие возможности:

- совместной и раздельной очистки отдельных видов сточных вод;
- извлечения и повторного использования ценных веществ в сточных водах;
- повторного использования производственных сточных вод в системе оборотного водоснабжения;
- использования очищенных бытовых и дождевых сточных вод;
- использования производственных вод для орошения сельскохозяйственных культур.

Кроме того, необходимо учитывать мощность водоприемника, качество воды в нем, вид водопользования и его самоочищающую способность.

Общесплавная система водоотведения

Эту систему целесообразно применять для небольших промышленных предприятий с непостоянным производственно-технологическим циклом, ассортиментом выпускаемой продукции и малой численностью работающих. Атмосферные воды, как правило, отводятся в общую сеть водоотведения (рис. 3.3). Все категории сточных вод поступают на единые очистные сооружения предприятия.

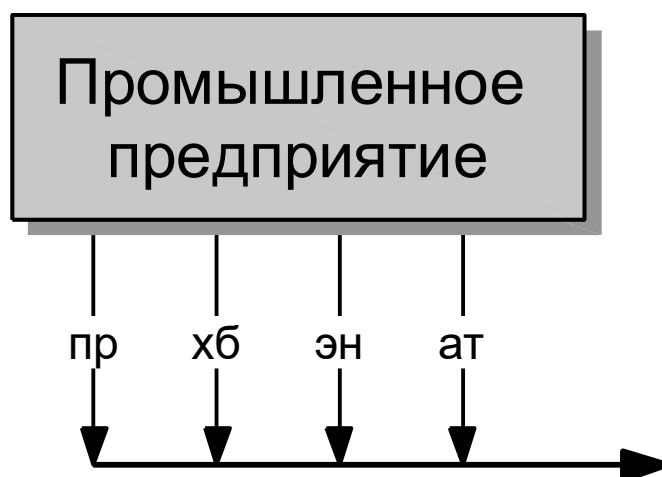


Рис.3.3. Общесплавная система водоотведения промышленного предприятия:

пр – производственные сточные воды; хб – хозяйственно-бытовые сточные воды;

эн – энергетические сточные воды; ат – атмосферные сточные воды.

Полная раздельная система водоотведения

Полное разделение потоков сточных вод предприятий может целесообразно для промышленных объектов с большим объемом производства, разнообразными производственными участками, расположенными на значительной территории. Такие предприятия, как правило, характеризуются постоянным производственным циклом в течении продолжительного времени.

Полная раздельная система водоотведения допускает использование разных материалов труб для транспортирования сточных вод, имеющих химические, температурные и другие особенности (рис.3.4). Полная раздельная система водоотведения позволяет наиболее рационально организовать использование воды путем системы очистных комплексов, необязательно локализованных на одной площадке.

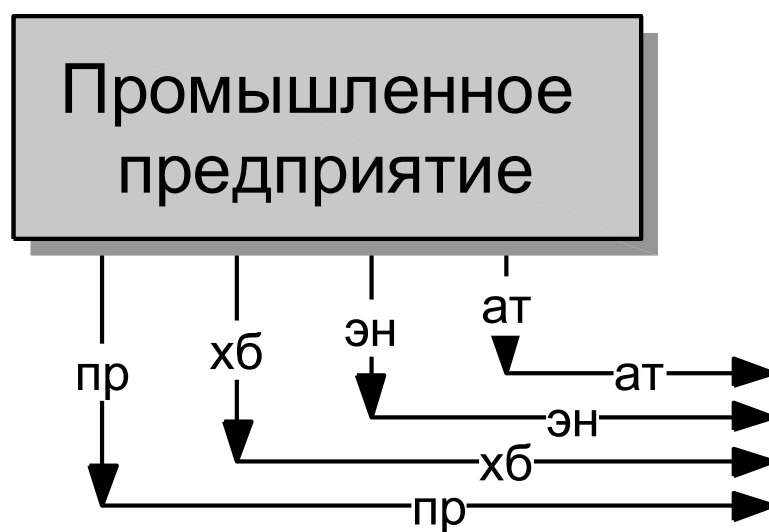


Рис.3.4. Полная раздельная система водоотведения промышленного предприятия.

Наличие разных систем трубопроводов отведения и подачи сточных вод, разные очистные комплексы существенно удорожают стоимость полной раздельной системы водоотведения. Однако целесообразность ее устройства должна определяться технико-экономическим обоснованием с учетом экологических требований.

Неполные раздельные системы водоотведения

Эти системы могут быть различными в зависимости от вида сточных вод, образующихся на предприятии, и других условий. Бытовые и дождевые сточные воды, как правило, отводятся по самостоятельным сетям.

Производственные сточные воды могут отводиться по нескольким различным системам трубопроводов, в зависимости от категории сточных вод. В конкретных условиях производственные сточные воды могут отводиться совместно с бытовыми стоками (производственно-бытовая сеть) или дождевыми водами (производственно-дождевая сеть) (рис.3.4).

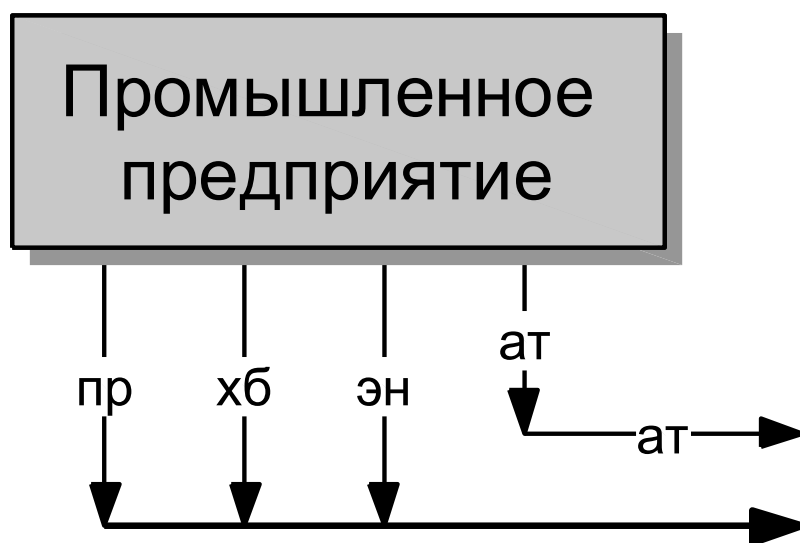


Рис.3.4. Неполная раздельная система водоотведения промышленного предприятия.

Неполные раздельные системы водоотведения промышленных предприятий могут быть весьма разнообразны и представлять собой комплексы, сочетающие элементы разных систем водоотведения.

Системы с локальными очистными сооружениями

Неполная раздельная система водоотведения промышленного предприятия применяется, например, когда в сточных водах отдельных цехов содержатся специфические загрязняющие вещества, для очистки от которых целесообразно устройство отдельных очистных установок.

Системы с частичным оборотом производственных сточных вод

Системы водоотведения с частичным оборотом воды целесообразно применять при возможности повторного использования некоторых производственных сточных вод для водоснабжения других производств без очистки или с частичной очисткой. Возможны варианты с частичным использованием очищенных сточных вод предприятия с доочисткой.

Системы с полным оборотом производственных вод

Системы с полным оборотом производственных вод применяют при нехватке воды для целей водоснабжения предприятия. Схема системы оборотного водопотребления промышленного предприятия приведена на рис. 3.5(а). Загрязненные сточные воды от производства (1) поступают на локальные очистные сооружения (2) и вновь направляется в производственный цикл.

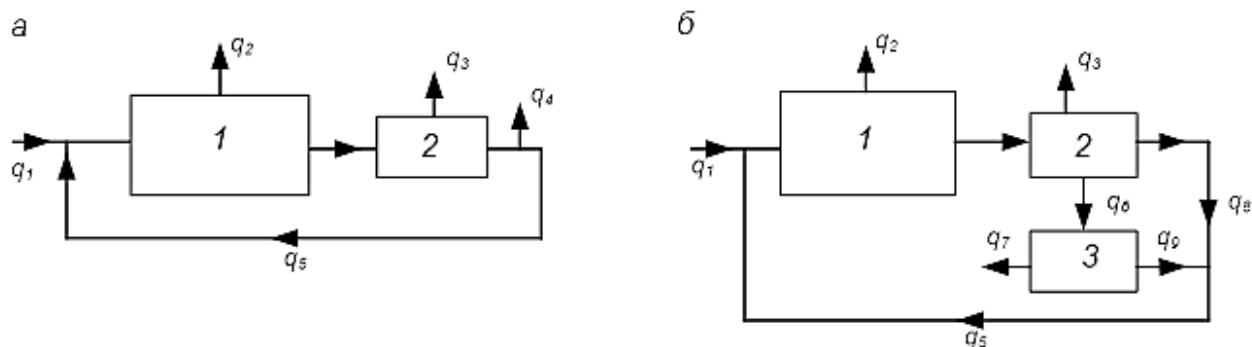


Рис. 3.5. Замкнутые схемы оборотного (а) и бессточного (б) водопотребления:

1 – производственная установка; 2 – очистное сооружение; 3 – блок доочистки. Расходы воды: q_1 – подпитка свежей водой; q_2, q_3, q_7 – безвозвратные потери воды; q_4 – продувка; q_5 – возврат воды; q_6 – отвод на доочистку; q_8 – возврат после основной очистки; q_9 – возврат после доочистки

В процессе оборота воды в систему попадают и накапливаются различные примеси, концентрация которых в определенный момент может превысить предельно допустимые значения. Во избежание дополнительного загрязнения из замкнутой системы непрерывно либо периодически удаляется часть воды, содержащей накапливающиеся примеси, и заменяется свежей, не содержащей

этих примесей. Это называется продувкой системы. Продувочная вода направляется в сеть водоотведения предприятия.

Бессточные системы водопользования промышленных предприятий

Раздельная система водоотведения с полным оборотом всех категорий сточных вод называется бессточной системой водопользования, или замкнутой системой водного хозяйства промышленного предприятия. В зависимости от конкретных условий на предприятиях возможно создание нескольких систем очистки с вариантами объединения различных видов сточных вод. В общем виде бессточная система водопользования промышленного предприятия может включать:

- ✓ локальные оборотные системы;
- ✓ централизованные замкнутые системы;
- ✓ охлаждающие локальные оборотные системы;
- ✓ системы повторного использования воды в двух или более технологических операциях.

Усовершенствованным вариантом оборотного водопользования является система бессточного водопотребления (рис. 3.5(б)). Продувочная вода дополнительно очищается от накапливающихся примесей и возвращается в оборот. При бессточном водопотреблении многократно сокращается потребление свежей воды и сброс сточных вод.

Системы водоотведения территориально-промышленных комплексов жилой застройки и промышленных предприятий

При разработке систем комплексного водоотведения районов и промышленных предприятий одновременно рассматриваются системы водоотведения нескольких городов и промышленных предприятий, расположенных на сравнительно близком расстоянии друг от друга или связанных между собой географическими, административными или иными

связями. Такие системы аналогичны системам промышленных предприятий и тоже бывают общесплавными и раздельными.

При разработке систем чаще всего рассматривают следующие варианты комплексного использования воды:

- ✓ сточных вод одного предприятия в качестве источников водоснабжения других предприятий;
- ✓ концентрированных сточных вод одних предприятий в качестве сырья для производства товарного продукта на других предприятиях;
- ✓ очищенных городских сточных вод на промышленных предприятиях в системах технического водоснабжения, для полива, обводнения водоемов и др. целей.

При проектировании систем водоотведения районов и промышленных комплексов появляются следующие возможности:

- ✓ повышения уровня комплексного решения водохозяйственных вопросов городов и промышленных объектов;
- ✓ комплексного использования природных водоемов, ограничения их числа для сброса сточных вод и уменьшения уровня их загрязнения;
- ✓ повышения пропускной способности очистных сооружений, на создание которых сокращаются удельные капитальные вложения;
- ✓ снижения удельных эксплуатационных затрат на очистку воды;
- ✓ повышения уровня эксплуатации очистных сооружений.

Выбор вариантов систем водоотведения должен производиться на основании технико-экономического сравнения вариантов, равноценных в санитарном отношении.

3.2.2. Схемы водоотведения промышленных предприятий

Существует несколько схем обезвреживания промышленных сточных вод. Одна из наиболее распространенных схем предполагает обеспечение установленных показателей очищенных сточных вод на внутриплощадочных очистных сооружениях предприятия (рисунок 3.6). Достоинства этой схемы

состоят в том, что технологический процесс очистки сточных вод может быть гармонизирован с технологией производства и своевременно перестраиваться при её изменении.

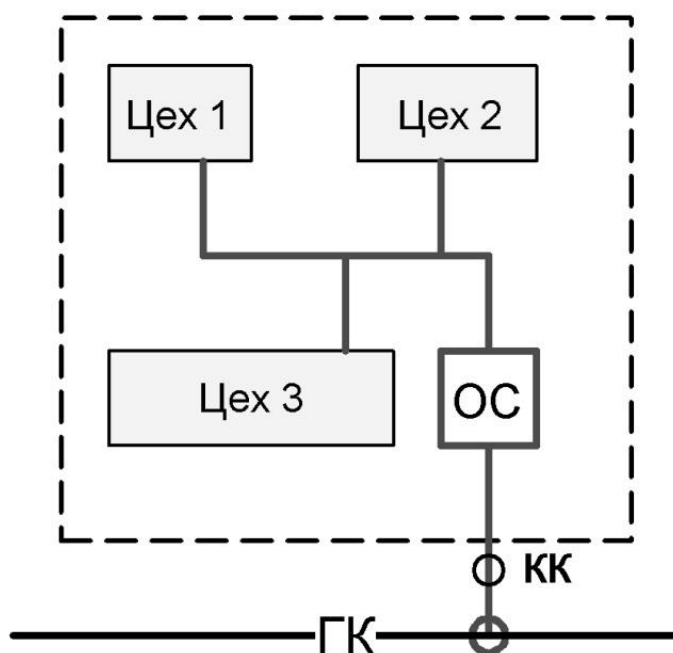


Рис. 3.6. Схема размещения очистных сооружений ОС на территории предприятия с подключением к централизованной системе водоотведения ГК

Она позволяет использовать часть очищенной воды для нужд предприятия. Эта схема обладает также инфраструктурными преимуществами при эксплуатации очистных сооружений. Недостаток внутриплощадочного размещения очистных сооружений состоит в сложности расширения на ограниченной территории.

Внеплощадочная схема размещения очистных сооружений предприятия вне его территории применяется при недостаточности места (рисунок 3.7). Эта схема применяется также при недопустимости размещения очистных сооружений на производственной площадке по санитарным или другим специальным требованиям. Размещение очистных сооружений на специально выделенной территории обеспечивает наилучшие планировочные решения и большие возможности для применения эффективных технологических

процессов. К недостаткам внеплощадочной схемы следует отнести значительные затраты на организацию повторного и многократного использования очищенных сточных вод.

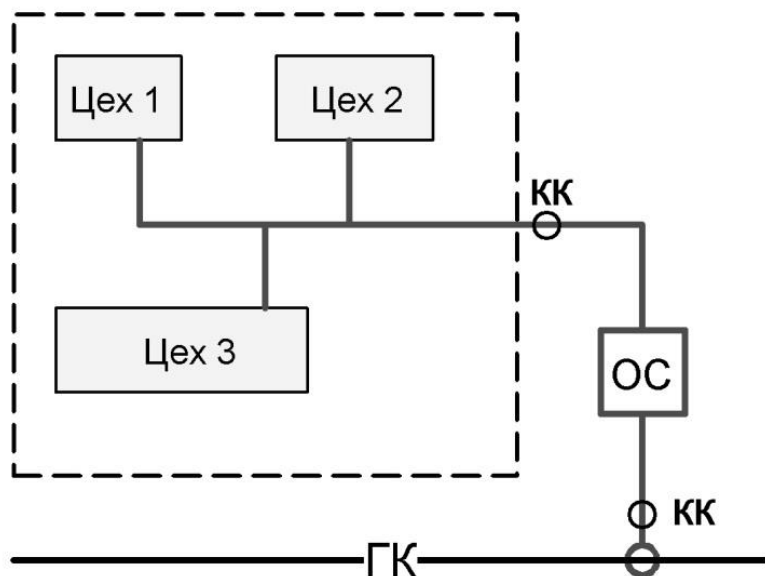


Рис. 3.7. Схема размещения очистных сооружений ОС вне территории предприятия с подключением к централизованной системе водоотведения ГК

В сложившихся территориально-промышленных комплексах, а также в развивающихся отраслевых кластерах, при достаточном обосновании может использоваться кустовая схема отведения сточных вод разных предприятий на единые очистные сооружения (рисунок 3.8). Кустовая схема организации очистки промышленных сточных вод обеспечивает высокую надежность и экономичность обеспечения установленных требований к очищенной воде, упрощает контроль показателей качества воды, сбрасываемой в централизованную систему водоотведения или водоём. Наиболее эффективно применение кустовой схемы при обслуживании предприятий одной или близких отраслей промышленности.

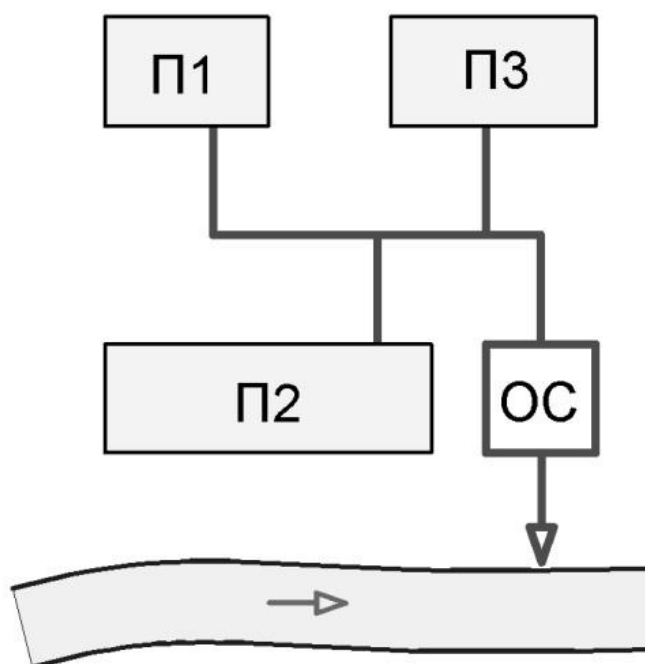


Рис. 3.8. Схема кустовых очистных сооружений ОС для группы предприятий П1, П2 и П3 со сбросом в водоём

Существенным недостатком кустовой схемы формирования потока сточных вод является более сложный состав загрязняющих веществ. Это обуславливает необходимость применения многоступенчатых технологических процессов на единых очистных сооружениях. Кроме этого, вследствие удаленности очистных сооружений и разнообразия требований к технологическим водам, возврат очищенной воды на предприятия может быть затруднен.

Наиболее крупные предприятия а также предприятия, особенность производства которых сопряжена с возможностью выделения в атмосферу вредных веществ, располагаются за пределами зоны жилой застройки. Часто на выделенной по климатическим условиям территории, там же, где размещаются централизованные очистные сооружения населенного пункта. Если состав загрязняющих веществ промышленных сточных вод не сильно отличается от коммунальных, то принципиально возможна совместная очистка этих вод на централизованных очистных сооружениях (рисунок 3.9).

В зависимости от особенностей сточных вод предприятия, они могут поступать в начало очистных сооружений или в последующие технологические ступени очистного процесса. Схема объединенной очистки промышленных сточных вод совместно с коммунальными обеспечивает стабильно высокое качество очищенных сточных вод, допускающее выпуск их в водоём. Уменьшается стоимость и эксплуатационные затраты в системе отведения сточных вод. Появляется возможность использования очищенных сточных вод в системе технического водоснабжения промышленного предприятия.

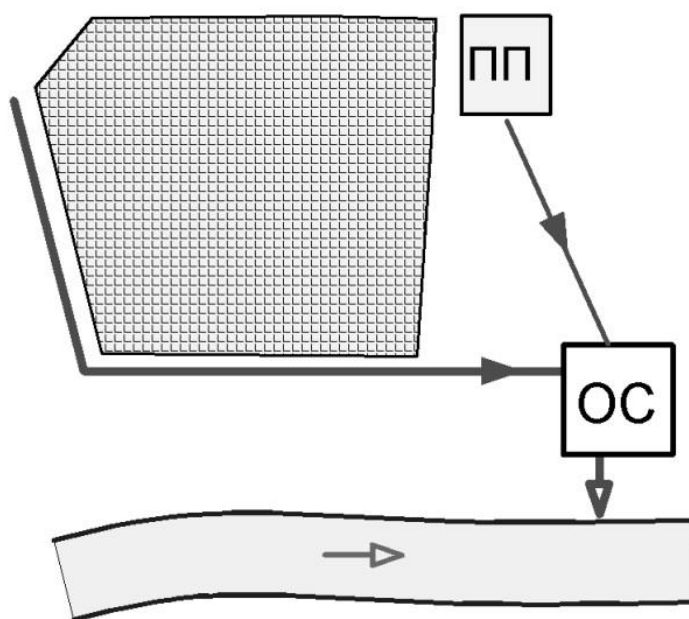


Рис. 3.9. Схема объединенной очистки коммунальных и промышленных сточных вод со сбросом в водоём.

3.2.3. Водоотводящие сети промышленных предприятий.

Особенности конструирования водоотводящих сетей

При проектировании и строительстве водоотводящей сети промышленных предприятий необходимо учитывать влияние, которое могут оказывать производственные сточные воды на материал труб и других сооружений, а также на работу самой водоотводящей сети.

Состав и свойства промышленных сточных вод могут обуславливать следующие последствия в работе водоотводящих сетей:

- ✓ разрушение вследствие коррозии материала труб, лотков, колодцев, стыков и других элементов (наименее устойчивым по отношению к коррозии является бетон);
- ✓ уменьшение пропускной способности труб вследствие их засорения или отложения осадка на их дне и на стенках;
- ✓ образование взрывоопасных газов и распространение их по трубам, что может вызвать возникновение пожара;
- ✓ образование газов, радиоактивных и других веществ, вредных для здоровья обслуживающего персонала.

Предохранение от коррозии осуществляется различными способами, в том числе изоляцией химически устойчивыми материалами (футеровкой, битумами, эпоксидной смолой), а также путем применения специальных бетонов, не разрушающихся от действия агрессивных вод.

Для предупреждения засоров в наружной водоотводящей сети предприятия на цеховых выпусках (например, на некоторых текстильных предприятиях) устанавливают решетки для задержания грубых нерастворимых примесей (шерсть, волокно и др.). Если производственные воды содержат вредные газы, то в месте присоединения внутренней цеховой канализации к наружной необходимо ставить гидравлические затворы.

В целях удобства чистки внутрицеховые водоотводные каналы устраиваются с перекрытиями из съёмных щитов.

Для того чтобы избежать образования и отложения осадка в трубах вследствие взаимодействия цеховых сточных вод, последние приходится отводить по отдельным трубам и каналам.

К трубам наружной канализационной сети промышленных предприятий предъявляется ряд дополнительных требований; они должны быть прочными в статическом отношении, водонепроницаемыми и устойчивыми против коррозии, которая может возникнуть под действием протекающих сточных вод

и выделяющихся в сети газов, а также под действием агрессивных грунтов и грунтовых вод.

Для самотечных линий канализационной сети промышленных предприятий наибольшее распространение получили керамические, асбестоцементные, бетонные и железобетонные трубы. Для напорных трубопроводов применяются напорные железобетонные и асбестоцементные трубы, а в отдельных случаях чугунные и стальные. Кроме того, находят применение фанерные трубы, а также трубы, изготавливаемые из полимерных материалов.

Для транспортирования агрессивных сточных вод водоотводящую сеть промышленных предприятий устраивают из кислотоупорных керамических, керамических с глазурованной поверхностью, фаолитовых, текстфаолитовых, фторопластовых, стеклопластиковых, полиэтиленовых, из нержавеющей стали, стальных, футерованных резиной или пластиком и чугунных асфальтированных труб. Чугунные асфальтированные, полиэтиленовые, а также трубы, футерованные резиной, применяют при температуре сточных вод не выше 60 °С, винилпластовые — не выше 40 °С. Стыки раструбных труб, служащих для отвода кислых сточных вод, заделывают асбестовым шпуром с битумным, андезитовым или арзамитовым замком.

При расчетном количестве агрессивных сточных вод, превышающем пропускную способность керамических труб наибольшего по существующему сортаменту диаметра, рекомендуется укладывать две линии труб. Каждая из них должна быть рассчитана на возможность пропуска 60% всех производственных сточных вод при наполнении, равном единице. Возможность применения железобетонных и бетонных труб для отведения производственных сточных вод определяется в зависимости от степени их агрессивности.

Для транспортирования сильно агрессивных сточных вод наиболее целесообразно применять пластмассовые трубы, если температура сточных вод

не превышает 40° С. Эти трубы следует предохранять от механических повреждений, если они изготовлены не из армированного материала.

Стеклянные трубы применяют внутри зданий для напорных, безнапорных и вакуумных линий, используемых для транспортирования горячей или холодной агрессивной воды (не содержащей плавиковой кислоты).

При изготовлении бетонных и железобетонных труб обязательно применение плотных бетонов из стойких цементов (силикат цементов с гидравлической добавкой шлаковых силикат цементов или глиноземистых цементов) с торкретированием поверхностей, обращенных к агрессивной среде, и с нанесением защитных покрытий.

Для труб, имеющих защитное покрытие, должны применяться такие стыки, заделка которых не вызывает повреждения покрытия. Стыки раструбных или гладких труб самотечной сети для агрессивных сточных вод заделываются кислотостойкими мастиками, приготовленными на основе битумов или минеральных смесей в зависимости от агрессивности и температуры сточных вод. В тех случаях, когда она превышает 30 — 35° С, применение стыков из черных вяжущих материалов не допускается.

Для заделки стыков применяют также специальные клеи и замазки на основе искусственных смол.

Напорную канализационную сеть устраивают из чугунных, железобетонных, асбестоцементных и стальных труб. При перекачке сильноокислых сточных вод применяют стальные гуммированные трубы (при температуре сточных вод не выше 65° С) или стальные, покрытые специальными составами.

Канализационные колодцы на самотечных сетях для кислых сточных вод следует выполнять из клинкерного, битуминированного или кислотоупорного кирпича на кислотоупорном растворе. Лотки таких колодцев делают из асфальтобетона, кислотоупорного бетона или кислотоупорного кирпича на кислотоупорном растворе.

Нижнюю часть стенок колодцев (на 20 см выше полок лотка), как наиболее труднодоступную для ремонта, целесообразно изолировать битумной обмазкой в несколько слоев толщиной по 5 мм или оклейкой рулонными изоляционными материалами не менее чем в два слоя.

Основания колодцев выполняются из асфальтобетона, уложенного по утрамбованному щебню из кислотоупорных пород.

При малой агрессивности сточных вод и газов для устройства смотровых колодцев применяются готовые кольца из кислотоупорного бетона, а также железобетонные люки и крышки. Металлические крышки люков и ходовые скобы следует покрывать асфальтовым лаком или другими кислотостойкими материалами.

На промышленных площадках в зависимости от состава сточных вод допускается прокладка канализационных трубопроводов в открытых и закрытых каналах, лотках, тоннелях, выполненных из антикоррозионных материалов. По возможности канализационную сеть укладывают вместе с другими коммуникациями в проходных туннелях. Последние должны быть оборудованы естественной вытяжной вентиляцией через специальные шахты.

Расстояние от трубопроводов, отводящих сточные воды, в которых содержатся агрессивные, летучие, токсичные и взрывоопасные вещества, до наружной стенки проходных тоннелей должно быть не менее 3 м, а до подвальных помещений и фундаментов зданий — не менее 6 м.

При наружной прокладке напорных трубопроводов для транспортирования агрессивных сточных вод их следует укладывать в вентилируемых проходных или полупроходных каналах. При прокладке в непроходных каналах необходимо устраивать смотровые камеры.

Необходимость вентиляции канализационной сети на промышленных предприятиях в каждом случае (в зависимости от состава сточных вод) определяется совместно с органами Государственного санитарного надзора.

При наличии в наружной сети производственной канализации вредных газов вентиляция ее производится через стояки из первого промежуточного колодца. Стояки располагаются не более чем через 200 м и выводятся на 2 м выше конька крыши наиболее высокого близ расположенного здания. Диаметр стояков 200 мм присоединяются они к верхней части колодца трубами, укладываемыми с уклоном в сторону колодца. При необходимости предусматривают искусственную вытяжную вентиляцию.

Если выделяющиеся из сточных вод газы могут вызвать усиленную коррозию металла, то предусматривается защита вентиляционных установок соответствующими покрытиями либо изготовление их из коррозионно-стойких материалов.

В тех случаях когда в сточных водах присутствуют сероводород, сероуглерод и другие вредные и образующие взрывоопасные смеси газы, кроме постоянно действующей естественной вентиляции проходных канализационных туннелей, должна предусматриваться приточновытяжная вентиляция с механическим побуждением.

При наличии в сети взрывоопасных газов должны применяться конструкции вентиляционных установок, исключающие возможность появления при их работе искр.

При агрессивных водах каналы строят из кислотоупорных материалов или из обычных материалов с футеровкой кислотоупорными плитками или кирпичом. При проектировании таких каналов следует учитывать, что кислая среда может периодически сменяться щелочной, а это исключает возможность применения вяжущих материалов на андезитовой основе. В этих случаях кладку каналов рекомендуется вести с расшивкой швов и последующим заполнением их арзамитовой замазкой.

Сложность прокладки канализационных сетей на территории промышленных предприятий обусловлена тем, что необходимо учитывать уложенные ранее многочисленные технологические трубопроводы, сети

водопровода, теплопроводы, кабели и пр. Кроме того, канализационные трубы нужно прокладывать с определенным заданным уклоном. Все инженерные сети прокладывают на соответствующем расстоянии друг от друга и от зданий. Взаимная увязка трубопроводов выполняется при совместном проектировании плана сетей.

3.2.4. Особенности устройства насосных станций на промышленных предприятиях

Для перекачки производственных сточных вод применяют специальные насосы, соответствующие особенностям их состава. Так, при величине рН сточной воды ниже 6 применяют кислотоустойчивые насосы ; при повышенном содержании в воде твердых примесей применяют так называемые грязевые насосы (марок ГР, НП и др.). Насосами такого же типа пользуются при перекачке шлама из отстойников, песколовок и накопителей; при небольшом количестве шламов применяются водоструйные эжекторы.

Насосы для перекачки производственных сточных вод, не выделяющих вредных газов и паров, могут быть установлены в производственных помещениях. Здесь же допускается располагать приемные резервуары при обеспечении постоянной их вентиляции.

Перекачка сточных вод в наружные сети канализации от технологических аппаратов, резервуаров и установок чаще всего осуществляется технологическими насосами.

При устройстве внутрицеховых станций для перекачки периодически поступающих сточных вод и сточных вод от мойки полов допускается установка насосов и приемных резервуаров в одном помещении при обеспечении его постоянно действующей вентиляцией с соблюдением норм, принятых для вентиляции данного цеха. Прием в такие резервуары сточных вод различного состава, при смешении которых образуются вредные газы, категорически запрещается.

Устройство отдельных приемных резервуаров обязательно при перекачке следующих жидких сред:

а) сточных вод различных категорий, смешение которых может вызвать образование вредных или взрывоопасных смесей газов, а также осаждающихся веществ;

б) сточных вод, содержащих сероуглерод, сероводород и другие токсичные и образующие взрывоопасные смеси газы;

в) нефтепродуктов, выделяемых из сточных вод.

Резервуары для приема агрессивных сточных вод, решетки или комминаторы и другое оборудование, устанавливаемое в помещении приемных резервуаров, должны быть защищены от разрушающего воздействия этих вод.

Насосные станции для перекачки сточных вод, содержащих нефтепродукты или другие горючие примеси, оборудуются насосами с электродвигателями во взрывобезопасном исполнении. Располагаются они в отдельно стоящих, преимущественно не заглубленных зданиях. В приемных резервуарах этих станций рекомендуется применение закрытых комминаторов.

При благоприятных климатических условиях электро — насосные агрегаты могут, устанавливаться на открытой площадке. В этом случае электродвигатели должны быть в защитном исполнении, а щит управления агрегатами должен помещаться в трансформаторном пункте. На аварийных выпусках из насосных станций для перекачки сточных вод, содержащих нефтепродукты или другие горючие примеси, должны предусматриваться гидравлические затворы.

В отдельных случаях при обосновании технико-экономической целесообразности одна и та же насосная станция может быть использована для перекачки нефти, осадка, активного ила; приемный резервуар при этом устраивают с несколькими отделениями. Коммуникация всасывающих и напорных труб в совмещенных насосных станциях должна обеспечивать возможность взаимозамены насосов. При этом несколько удорожается

строительство, но тогда даже при продолжительной остановке любого насоса исключаются нарушения в работе всей системы канализации.

Насосное оборудование станций должно быть однотипным для каждого вида производственных сточных вод; количество установленных насосов должно быть не менее двух.

В насосных станциях для перекачки кислых, щелочных и близких им по составу сточных вод кроме рабочих насосов должны быть установлены резервные агрегаты.

На насосных станциях для перекачки шламов от станции нейтрализации и химводоочистки при одном рабочем насосе предусматриваются один резервный и один на складе, а при большем числе рабочих насосов два резервных.

Для перекачки кислых сточных вод следует применять кислотоупорные насосы. Выпускаемые отечественной промышленностью насосы имеют производительность 75 — 400 м³/ч и напор 10 — 40 м. Щелочные воды или близкие к ним по составу производственные сточные воды могут перекачиваться фекальными насосами, например насосами типа НФ. Насосы рекомендуется устанавливать под заливом, что облегчает автоматизацию их работы. Фундаменты под кислотоупорные насосы устраиваются из кислотоупорного бетона.

Во всех случаях когда перекачиваемые стоки содержат вредные газы (сероуглерод и др.), над машинным помещением не должны располагаться мастерские, электроподстанции, диспетчерские и другие вспомогательные помещения.

Перекрытия над приемными резервуарами в этих случаях устраивают с учетом возможности образования взрывной волны; располагаются они над поверхностью земли. Вокруг приемного резервуара устраивается ограждение высотой 1,2 м. Расстояние от резервуаров до цехов должно быть не менее 20 м.

В помещениях насосных станций должна предусматриваться искусственная приточно-вытяжная вентиляция, обеспечивающая одно-трехкратный обмен воздуха в 1 час. Всасывающие трубопроводы станций для перекачки сточных вод, содержащих серную и соляную кислоты, рекомендуется выполнять из нержавеющей стали с усиленным сварным швом, а напорные трубопроводы внутри станции из стальных гуммированных или футерованных пластмассой труб.

При небольшой длине напорных трубопроводов их рекомендуется укладывать для каждого насоса, не устанавливая на трубопроводах 1 задвижек и обратных клапанов. Это особенно целесообразно при перекачке кислых шламовых сточных вод и при автоматизации работы станции. Расчетную скорость движения воды в напорных трубопроводах принимают равной 1,25 — 1,5 м/сек.

При проектировании насосных станций необходимо учитывать не только агрессивные свойства перекачиваемой сточной жидкости, но и характер не растворенных в ней примесей. В соответствии с этими показателями выбираются тип насосных агрегатов, материал трубопроводов и строительные материалы. Так, например, насосные станции для откачки шлама из радиальных отстойников для осветления сточных вод от газоочистки рекомендуется размещать вблизи отстойников с тем, чтобы уменьшить длину подводящего шламопровода.

Насосы применяются повышенной абразивостойкости, легко разбираемые. Учитывая вероятность засорения всасывающего и напорного шламопроводов, предусматривается возможность их периодической промывки. По тем же причинам рекомендуется предусматривать отдельный насос для каждого отстойника. Для промывки всасывающих и напорных трубопроводов в насосную станцию должна быть подведена вода от технического водопровода высокого давления.

Гидравлическое транспортирование шламов производится при разбавлении их от 7 до 10 раз (при соотношении твердой и жидкой части пульпы 1:7 — 1:8). Во избежание быстрого истирания труб шламопроводов скорость потока в них ограничивается: во всасывающих шламопроводах от 0,8 до 1,2 м/сек, а в напорных 1,2 — 1,5 м/сек.

Напорный шламопровод укладывается не менее чем в две нитки (одна из них резервная). Трубы располагаются на эстакадах или в доступных для осмотра лотках.

Поскольку производственные сточные воды могут иметь высокую и непостоянную температуру, а также содержать летучие вещества и растворенные газы. Эти особенности сточных вод обуславливают необходимость возможно точного определения допустимой высоты всасывания насосов.

3.2.5. Особенности трассирования и гидравлического расчета водоотводящей сети промышленного предприятия

Трассирование канализационной сети на территории промышленных предприятий в связи с наличием на них большого количества подземных и наземных сооружений иногда представляет собой весьма сложную задачу. Чаще всего канализационную сеть укладывают вдоль проездов на определенном расстоянии от оси дороги, учитывая при этом расположение подземных сетей другого назначения.

Расстояние в плане между канализационными трубами и параллельно расположенными зданиями и сооружениями, а также другими сетями внутри промышленной площадки следует назначать в зависимости от конструкции фундаментов зданий и глубины их заложения, от типа дорог, диаметра труб и их материала, а также от назначения сетей и глубины их заложения.

Гидравлический расчет канализационной сети и коллекторов производится исходя из расхода производственных сточных вод при полном развитии промышленного предприятия. При этом следует учитывать возможность форсированного режима работы технологических установок предприятия. Условия работы сети должны проверяться на расходы воды по очередям строительства канализуемых объектов.

При расчете самотечных и напорных канализационных сетей пользуются теми же формулами, что и для бытовых вод. Величина расчетной скорости потока в трубах и каналах принимается в зависимости от количества и свойств не растворенных примесей, находящихся в сточных водах, а также от диаметра труб. Так, например, для сточных вод, содержащих такие примеси, как нефть, жиры и т.п., расчетную скорость принимают равной 0,8 — 0,9 м/сек, а для сточных вод, содержащих тяжелые механические примеси (шлам, легкую окалину, колошниковую пыль и т. п.), - 1,25 — 1,6 м/сек.

Уклоны труб и каналов производственной канализационной сети принимаются исходя из условия обеспечения заданных или допустимых минимальных скоростей потока. Безрасчетным внутрицеховым лоткам и трубам диаметром более 100 мм обычно дается уклон 0,005. Для сточных вод, содержащих значительные количества механических примесей, минимальные уклоны увеличиваются до 0,01. Значительно большие уклоны принимаются при проектировании канализационных линий для отведения сточных вод, содержащих тяжелые примеси. Каналы для отвода сточных вод, содержащих окалину от блюмингов, должны прокладываться с уклоном 0,05 — 0,07. Для сточных вод, содержащих окалину от рельсобалочного стана, - 0,04 — 0,05. Каналы для гидрозолоудаления должны иметь уклон от 0,006 до 0,015, а каналы для гидравлического транспорта шлама при его грануляции не менее 0,015. Трубопроводы для отвода сточных вод от газоочистки укладываются с уклоном 0,005 — 0,006. Для отвода шламовых вод применяют уклон 0,01 и 0,008. Уклон труб большего диаметра определяется расчетом.

Внутрицеховые лотки и трубопроводы должны обеспечить пропуск максимальных секундных расходов воды при принятых уклонах и наполнениях, равных не более 70% площади сечений. Полное наполнение труб диаметром до 300 мм включительно допускается при пропуске душевых и банно-прачечных сточных вод или при кратковременных сбросах производственных сточных вод, а также при отведении дождевых вод. Присоединение самотечных трубопроводов внутренней канализации к наружным сетям, по которым отводятся производственные стоки, содержащие вредные газы и легковоспламеняющиеся жидкости, производится с устройством гидравлических затворов на выпусках из цехов.

Для локализации взрывов и сопровождающего их пламени в трубах сифоны устанавливают также на прямых участках канализационной сети через каждые 250 м.

Гидравлический затвор выполняется в виде колодца с неполной перегородкой или концом трубы, погруженным ниже уровня жидкости на глубину не менее 10 см.

Инженерные сети (канализация, водопровод, водостоки, дренаж и др.) надлежит проектировать как единое подземное комплексное хозяйство с учетом общего планировочного решения промышленной площадки и взаимной увязки всех видов сетей.

В целях более рационального размещения всех подземных сооружений составляют совмещенный план коммуникаций и сетей.

Раздел 4. СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Тема 4.1. Системы очистки сточных вод предприятий

4.1.1. Общие положения и направления очистки производственных сточных вод

Основные показатели сточных водах, отводимых от промышленных предприятий, в значительной мере обусловлены технологией производства и системой водоснабжения и отведения воды. При широчайшем общем перечне веществ, содержащихся в сточных водах предприятий, существует ряд характерных отличий их от городских, составной частью которых они являются.

Производственные сточные воды конкретного предприятия, как правило, содержат по сравнению с городскими, ограниченное число специфических видов загрязнений. Одновременно концентрация их сточных водах и режим поступления в систему водоотведения могут изменяться в очень широких пределах. Другой особенностью является обновление и перепрофилирование производств, что обуславливает непостоянство показателей промышленных сточных вод одного объекта в течение относительно длительного периода времени.

Все загрязнения промышленных сточных вод по видам делят на растворимые и нерастворимые вещества минерального и органического строения, а также летучие вещества и газы.

Современные технологии очистки воды отличаются большим разнообразием методов. По механизму достижения заданных показателей воды методы очистки делятся на две группы - *разделительные* и *деструктирующие*.

При осуществлении разделительного метода уменьшение величин санитарно-химических показателей обусловлено уменьшением массы загрязняющих веществ, вследствие извлечения их из воды. Если в результате применения разделительных методов появляется возможность получения утилизируемых продуктов или регенерации технологических растворов, то такие методы очистки воды называются *рекуперативными*.

Применение деструктирующих процессов воздействия на систему загрязняющих веществ также приводит к снижению значений санитарно-химических показателей сточных вод. Однако это сопряжено с разрушением первоначальных веществ и появлением в воде продуктов их деструкции.

Следовательно, разделительные процессы очистки воды обеспечивают уменьшение массы загрязнений в обрабатываемой воде, в то время как деструктивные видоизменяют их химический состав. В строгом смысле деструктирующие процессы методами «очистки сточных вод» являются условно. Поэтому допустимо относить разделительные методы – к методам «истинной» очистки воды, в то время как деструктирующие методы – к методам «формальной» очисткой воды.

Общей задачей очистки производственных сточных вод является достижение показателей, установленных для условий выпуска или использования очищенной воды. Основными направлениями решения этой задачи могут быть тотальная (общая), локальная или селективная системы очистки сточных вод.

Тотальная очистка сточных вод осуществляется с целью достижения эффекта общего улучшения качества воды по многим показателям. Это направление очистки, имеет место при обработке общего потока сточных вод перед выпуском их в систему водоотведения населенного места. Система тотальной очистки сточных вод, как правило, отличается технологической сложностью, сочетающей разделительные и деструктивные методы, большим числом сооружений и оборудования, размещением на специально отведенной территории предприятия. Отходы тотальной очистки сложны в утилизации.

Локальная очистка предполагает обработку локального потока сточных вод перед смешением его с другими потоками с целью обеспечения нормальных условий эксплуатации водоотводящих сетей и сооружений. Локальной очисткой добиваются предварительного снижения высоких концентраций ограниченного числа специфических загрязнений. Это

достигается использованием ограниченного числа разделительных или деструктивных методов. Система локальной очистки сточных вод размещается в местах формирования локальных потоков или перед выпуском их в систему водоотведения предприятия.

Селективная очистка сточных вод устраивается с целью уменьшения или исключения сброса в систему водоотведения концентрированных растворов путем восстановления их технологических свойств. Направление селективной очистки формируется на основе рекуперативных разделительных процессов, так как при этом часто появляется возможность утилизации отделенных примесей. Система селективной очистки располагается в едином технологическом блоке с основным производственным оборудованием.

При разработке систем очистки производственных сточных вод необходимо учитывать также то, что полностью или частично они поступают в коммунальные системы водоотведения, конечным звеном которых являются станции биологической очистки сточных вод. Поэтому направления очистки производственных сточных вод должны определяться не только технологическими требованиями к качеству оборотной или повторно используемой воды, но и условиями минимизации содержания биологически стойких и токсичных компонентов при отведении воды в коммунальные системы.

Выбор технологии очистки сточных вод зависит от размера частиц примесей, физико-химических свойств, концентрации загрязняющих веществ, расхода сточных вод, санитарных и технологических требований, предъявляемых к качеству очищенных вод с учетом дальнейшего их использования.

Для удаления взвешенных частиц из сточных вод используют гидромеханические процессы (периодические и непрерывные) процеживания, отстаивания (гравитационное и центробежное), фильтрование.

Физико-химические методы играют значительную роль при очистке производственных сточных вод. Они применяются как самостоятельно, так и в сочетании с механическими, химическими и биологическими методами. В последние годы область применения физико-химических методов очистки расширяется, а доля их среди др. методов очистки возрастает.

К физико-химическим методам очистки сточных вод относят коагуляцию, флотацию, адсорбцию, ионный обмен, экстракцию, ректификацию, выпаривание, дистилляцию, обратный осмос и ультрафильтрацию, кристаллизацию, десорбцию и др. Эти методы используют для удаления из сточных вод тонкодисперсных взвешенных частиц (твердых и жидких), растворимых газов, минеральных и органических веществ.

Биологическая очистка основана на жизнедеятельности микроорганизмов, которые способствуют окислению или восстановлению органических веществ, находящихся в сточных водах в виде тонких суспензий, коллоидов, в растворе и являются для микроорганизмов источником питания, в результате чего и происходит очистка сточных вод от загрязняющих веществ.

Очистные сооружения промышленных предприятий можно классифицировать следующим признакам:

- ✓ по гидравлическим условиям работы: проточные, непроточные и комбинированные;
- ✓ по режиму работы: непрерывно работающие и периодически работающие;
- ✓ по характеру работы в системе водного хозяйства: работающие в прямоточной системе, работающие в оборотной (частично замкнутой) системе, работающие в прямоточной системе с повторным использованием воды и работающие в полностью замкнутой (бессточной) системе;

- ✓ по месту сброса очищенных сточных вод: со сбросом в производственную канализацию, со сбросом в городскую канализацию, со сбросом в водоем;
- ✓ по схеме очистки: одноступенчатые и многоступенчатые, с обессоливанием воды и без обессоливания воды, реагентные, малореагентные и безреагентные;
- ✓ по применяемой технологии очистки: нейтрализационные, механической, химической очистки, физико-химической очистки, биологической очистки и комбинированные.

4.1.2. Механическая очистка сточных вод

К одним из распространенных видов загрязняющих веществ производственных сточных вод относят нерастворенные минеральные и органические включения, размеры и концентрация которых колеблются в широких пределах.

В зависимости от свойств загрязняющих веществ производственных сточных вод и требований к качеству очищенной воды применяют различные процессы, очистные сооружения и оборудование, а также их комбинации. В системах гидромеханической очистки сточных вод применяются процессы усреднения, процеживания, гравитационного и инерционного разделения и фильтрования. Классификация основных процессов, сооружений и устройств для механической очистки воды представлена на рис. 4.1. Все процессы механической очистки сточных вод относятся к разделительным.

Задержание крупных примесей осуществляют с использованием процессов процеживания. Для извлечения более мелких дисперсных загрязняющих примесей – гравитационное разделение и фильтрование. Процесс инерционного разделения загрязняющих веществ используют при их высоком содержании в сточных водах и достаточном различии их плотностей.

Гидромеханическая очистка, как правило, является предварительной и реже единственной ступенью в системе технологического процесса тотальной очистки производственных сточных вод.



Рис. 4.1. Основные процессы, сооружения и оборудование для осуществления гидромеханической очистки производственных сточных вод.

Сооружения и оборудование, осуществляющие локальную гидромеханическую очистку сточных вод, как правило, устанавливаются на цеховых выпусках и локализованных потоках. Их функциональное предназначение – обеспечение надежной работы водоотводящих сетей и регулирующих емкостей. Однако все задачи очистки сточных вод в полной мере они не решают.

Усреднение производственных сточных вод

Выравнивание колебаний концентрации загрязняющих веществ, регулирование расхода сточных вод, а также частичное отделение

нерастворенных примесей из воды обеспечивает процесс усреднения, решая одну из задач гидромеханической очистки.

В зависимости от характера изменения величин расхода и концентрации загрязняющих веществ режим поступления сточных вод в отводящую систему предприятия может быть представлен одним из характерных графиков, приведенных на рис. 4.2.

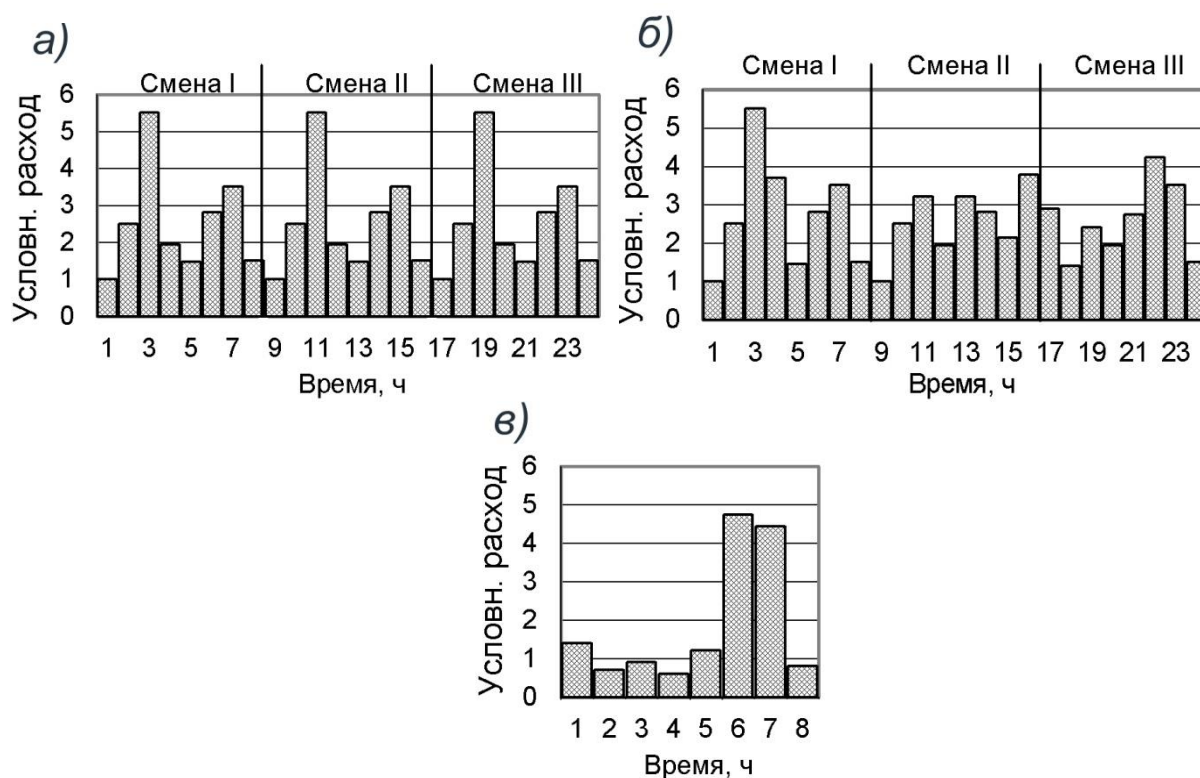


Рис. 4.2. Режимы отведения производственных сточных вод:

а – циклический; б – несистематический; в – залповый.

Первоначально, усреднение сточных вод применялось как наиболее простой способ достижения требований к показателям производственных сточных вод, отводимых в коммунальные системы канализации, так как в усредненном стоке меньшее число показателей превышало установленные значения ПДК, а если и превышало, то на меньшие величины.

В дальнейшем, в результате ужесточения требований к сточным водам предприятий, принимаемых в коммунальные системы водоотведения, оказались меньше установленных значений ПДК, усреднение, как процесс, стало подготовительной операцией для обеспечения стабильной работы очистных систем. Поступление на очистные сооружения производственных

сточных вод с постоянным расходом и усредненной концентрацией загрязняющих веществ создает ряд преимуществ — повышение эффективности как гидромеханической, так и последующих физико-химической и биологической очистки сточных вод. В результате этого достигаются более высокие качественные показатели очищенной воды. Введение в комплекс очистных сооружений резервуаров-усреднителей позволит продлить срок службы очистных сооружений.

Выравнивание колебаний расхода и концентрации загрязняющих веществ производственных сточных вод можно обеспечить несколькими путями. При выравнивании колебаний притока сточных вод, усреднительные сооружения могут располагаться на основном канале сточных вод перед очистными сооружениями. В этом случае все сточные воды проходят через усреднитель. Иногда усреднители устанавливают на обводных линиях параллельно основному технологическому каналу и отводят в них лишь избыточный расход сточных вод. В обоих случаях применением системы регулирования достигается снижение колебания расходов сточных вод до расчетного уровня.

Усреднение расхода сточных вод может быть также достигнуто путем устройства системы отбора постоянного расхода с помощью насосов. В этом случае эффективность усреднения меньше зависит от вместимости резервуара - усреднителя.

Для выравнивания колебаний концентрации загрязняющих веществ в поступающих сточных водах применяют усреднение, основанное на принципах перемешивания поступающей воды с находящейся в усреднителе, или дифференцирования потока.

В усреднителях с перемешиванием поступающей сточной воды применяются механические мешалки, насосы и другие устройства (рис. 4.3 и 4.4.).

Особенность этого сооружения состоит в гидравлическом регулировании расхода сбрасываемой воды при колебаниях расхода поступающей.

Наиболее удобными в эксплуатации являются перфорированные трубчатые барботеры, особенно из некорродирующих материалов (например, из полиэтилена). Строительный материал для усреднителей выбирают с учетом химического состава сточных вод. При наличии в производственной сточной воде взвешенных веществ барботеры должны препятствовать их осаждению.

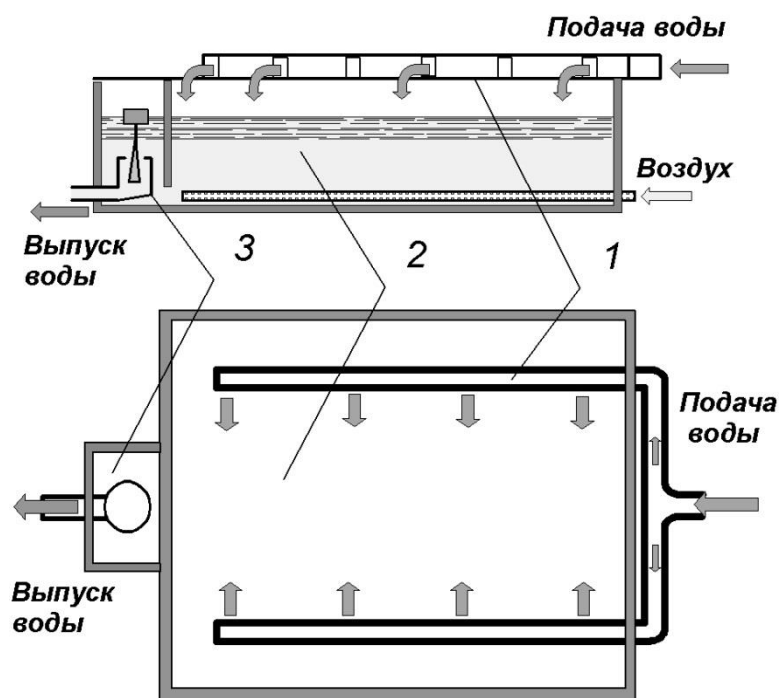


Рис. 4.3. Усреднитель расхода с барботажным перемешиванием и регулирующим устройством на выпуске:

1 – распределительные каналы; 2 – буферный объем воды; 3 – регулирующее выпускное устройство

При перемешивании с помощью сжатого воздуха интенсивность аэрации зависит от концентрации взвешенных веществ и их гидравлической крупности и изменяется в пределах от 5 до 12 м³/ч на 1 м барботера. Усреднитель с барботированием воды воздухом рекомендуется применять для усреднения сточных вод с содержанием взвешенных веществ до 500 мг/л. При большем содержании взвешенных веществ применяются усреднители с механическим перемешиванием и отстойной частью. Для высококонцентрированных промышленных сточных вод усреднители обычно размещают после отстойников или оборудуют их осадочной частью.

Усреднитель с внешним перемешиванием насосной установкой приведен на рис. 4.4. Насосная установка здесь обеспечивает достаточный циркуляционный расход воды для перемешивания и подает воду на очистные сооружения, так как усреднители, как правило, заглублены.

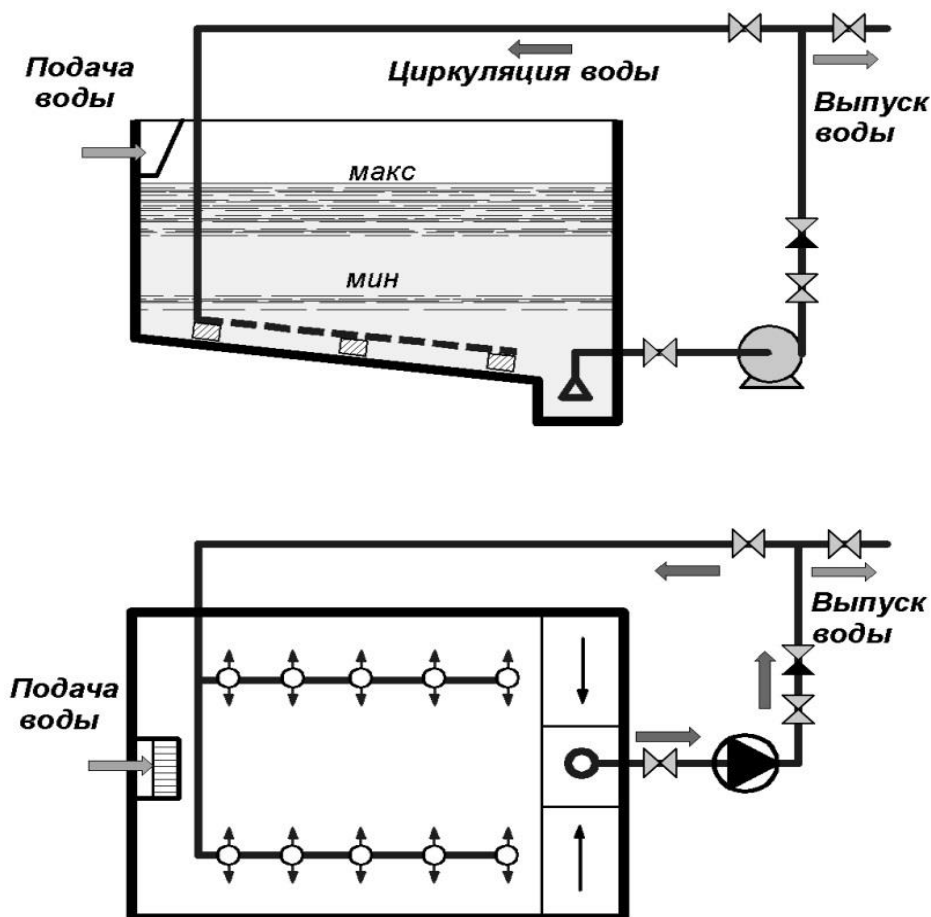


Рис. 4.4. Усреднитель расхода с циркуляционной насосной установкой.

Принцип усреднения с дифференцированием потока поступающих сточных вод состоит в «смещении по времени» частей потока. Сточная вода при подходе к усреднителю с дифференцированием потока (рис. 4.5.) разветвляется на две части и подается в равных количествах к правой и левой половинам, а затем поступает в распределительные желоба, равномерно распределяющие сточную воду по всему сечению усреднителя. Часть сточной воды, поступившая в первый, наиболее короткий коридор, сразу же начинает сливаться в сборный желоб, где смешивается с водой, поступающей из других коридоров. Часть же стока из длинного коридора начнет сливаться в сборный

желоб значительно позже и будет смешиваться с водой, поступившей в усреднитель ранее из более коротких коридоров. Таким образом, усреднение концентрации сточных вод происходит в результате разделения отдельных частей потока во времени.

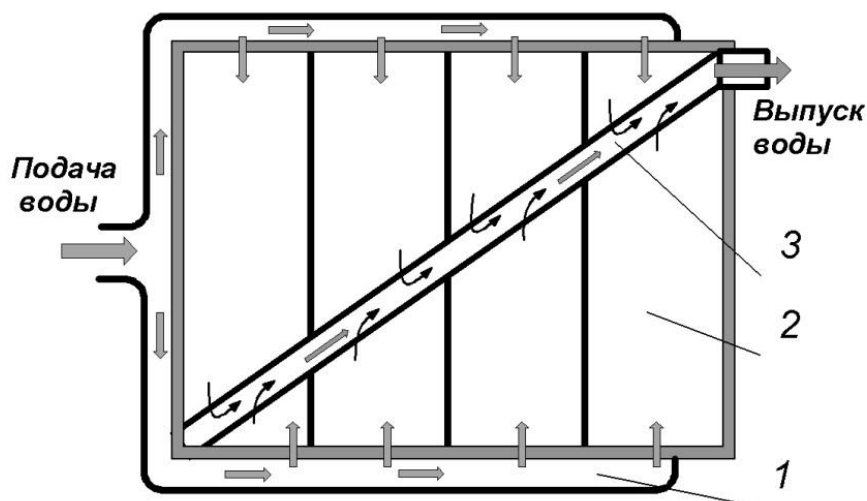


Рис. 4.5. Усреднитель концентрации сточных вод с дифференцированием потока :
1 – распределительные каналы; 2 – буферный объем воды; 3 – сборный лоток.

Усреднители с дифференцированием потока рекомендуется применять при залповых сбросах высококонцентрированных сточных вод. При циклических колебаниях рекомендуется применять усреднитель с перемешиванием.

Объем усреднителя определяют с учетом колебаний концентрации загрязняющих веществ в сточных водах.

В зависимости от местных условий и компоновочных решений резервуар-усреднитель может быть как отдельно стоящим, так и расположенным внутри здания очистных сооружений. Резервуар выполняется из металла, сборного или монолитного железобетона. В высотное положение резервуара-усреднителя должно обеспечивать самотечное поступление в него сточных вод.

Принципы расчета усреднителей (по концентрации)

Для расчета усреднителя по концентрации предварительно определяют показатель усреднения по выражению:

$$K = \frac{C_{\max} - \bar{C}}{C_{\text{ндк}} - \bar{C}} \text{ при } C_{\text{ндк}} > \bar{C} \quad (4.1)$$

где $C_{\max}$ – наибольшая концентрация загрязняющих веществ в поступающих сточных водах; $C_{\text{ндк}}$ – наибольшая допустимая концентрация сточных вод; $\bar{C}$ – концентрация загрязняющих веществ после усреднения.

Вместимость усреднителя определяют в зависимости от условий усреднения и типа сооружения с использованием таблицы 4.1.

Таблица 4.1

Определение вместимости усреднителей

Тип усреднителя	Вид профиля притока сточных вод	
	залповый	циклический
С перемешивающими устройствами	$K < 5$ $W = \frac{1,3Q \cdot T_3}{\ln\left(\frac{K}{K-1}\right)}$	$K < 5$ $W = 0,21Q \cdot T_{\text{ц}} \sqrt{K^2 - 1}$
	$K \geq 5$ $W = 1,3Q \cdot T_3 K$	$K \geq 5$ $W = 1,3Q \cdot T_{\text{ц}} K$
С дифференцированием потока	$W = 1,3Q \cdot T_3 \frac{K}{2}$	$W = 1,3Q \cdot T_{\text{ц}} \frac{K}{2}$
Многоканальный	$W = Q \cdot T_3 \frac{K}{2}$	$W = 1,3Q \cdot T_{\text{ц}} \frac{K}{2}$

Процеживание сточных вод. Решетки

Для удаления из воды наиболее крупных загрязнений используются решетки и сита. Решетки обычно выполняют роль защитных сооружений и служат, в основном, для извлечения крупных отходов производства (мездра, бумага, тряпье, обломки древесины, камни, мусор), попадание которых в последующие очистные сооружения может вызвать засорение труб и каналов, а также нарушение нормальной работы или поломку движущихся частей оборудования.

Решетки подразделяются на неподвижные, подвижные и совмещенные с дробилками (комминаторы). Они могут быть с механической или ручной очисткой, устанавливаться вертикально или наклонно, под углом 60°. Решетки изготовляют из металлических стержней различной формы, чаще всего круглой или прямоугольной. Ширину зазоров (прозоров) между ними принимают от 15 до 20 мм, стандартные прозоры равны 16 мм.

Очистку решеток от задержанных загрязнений можно производить вручную, если количество уловленных загрязнений не превышает 0,1 м³/сут, и механическими граблями. Грабли можно устанавливать перед решеткой и после нее. Уловленные на решетках загрязнения измельчают в специальных дробилках и возвращают в поток воды перед решеткой.

Применение получили решетки следующих типов: решетки механические унифицированные РМУ, поворотные МГТ, малогабаритные вертикальные РМВ, комбинированные решетки-дробилки типов РД и КРД. Схема решетки-дробилки приведена на рис. 4.6

Решетки-дробилки совмещают функции решетки и дробилки, применяются для задержания и дробления отходов без извлечения их из потока сточной воды.

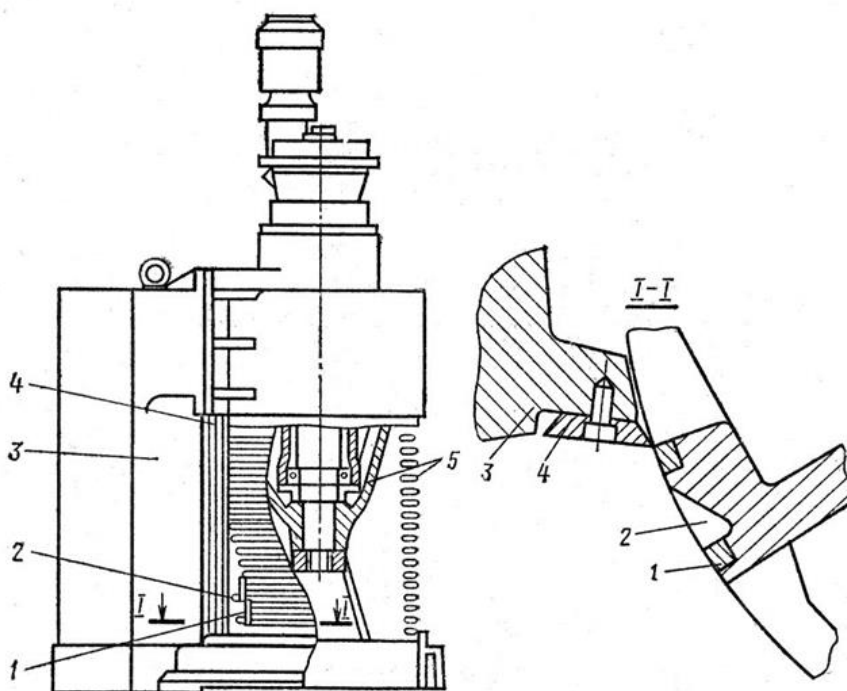


Рис. 4.6. Решетка-дробилка (комминуторы) тип РД:

1 – режущая планка; 2 – карман ловушка; 3 – колонна; 4 – ответная планка; 5 – барабан.

Решетка-дробилка состоит из левого барабана с режущими пластинами и резцами, корпуса с трепальными гребнями и приводного механизма. Сточная вода поступает на вращающийся барабан с щелевидными отверстиями, проходит внутрь барабана (скорость 1,2 м/с) и движется далее вниз к выходу из решетки-дробилки. Крупные фракции загрязнений задерживаются на перемычках между щелевыми отверстиями барабана и транспортируются при вращении барабана к трепальным гребням, закрепленным на неподвижном корпусе.

Такая конструкция является компактной, а процесс можно полностью автоматизировать.

Решетки-дробилки задерживают и дробят отбросы в потоке воды, в результате чего отпадают процессы транспортирования их к дробилке и улучшаются санитарные условия.

Скорость движения воды в прозорах механизированных решеток принимают 0,8-1,0 м/с, для избежание продавливания отбросов.

Решетки размещают в отдельных отапливаемых и вентилируемых помещениях, снабженных грузоподъемными приспособлениями.

Процеживание сточных вод. Сита и микропроцеживатели

Сита разных типов применяются для выделения из производственных сточных более мелких взвешенных веществ. Наибольшее распространение получили дуговые и барабанные сита.

Дуговые сита выпускаются с неподвижной или подвижной сеткой. Лучшими эксплуатационными показателями обладают дуговые сита с подвижной сеткой, размеры ячеек которой 0,15...2,5 мм (рис. 4.7).

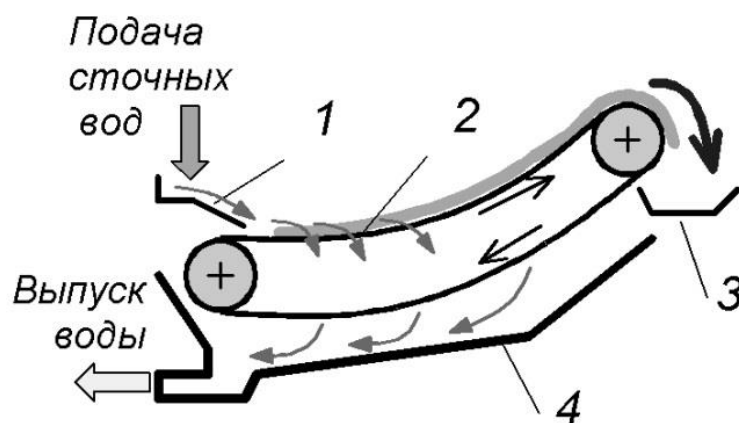


Рис. 4.7. Дугообразное сито с движущейся сеткой:

1 – лоток подачи сточных вод; 2 – сетка; 3 – транспортерная лента для мусора; 4 – поддон для сбора очищенной сточной воды.

Достоинства дуговых сит по сравнению с плоскими решетками состоят в малом перепаде уровней воды в подводящем и отводном каналах при значительной неравномерности притока сточных вод и возможности визуального контроля всей рабочей поверхности без остановки оборудования.

Взвешенные вещества в форме волокон обладают особыми свойствами, которые создают значительные трудности для эксплуатации водоотводящих сооружений. Частицы волокон в потоке движущейся жидкости ориентируются вдоль потока, что препятствует их задержанию в процеживателях в виде плоских сеток. Другой особенностью волокон является их способность к «сваливанию», что существенно усложняет отделение от процеживающей поверхности, ее очистку.

Для удаления более мелких взвешенных веществ применяются вращающиеся сита и микрофилтры. В практике используются вращающиеся сита трех типов: барабанные сетки, дисковые и ленточные волокноуловители, плоские (подъемные) сита, а также микропроцеживатели.

Барабанные сетки представляют собой непрерывно действующий механизм в виде вращающегося барабана, на который натянута тонкая металлическая сетка. Размеры ячеек барабанных сеток 0,3-0,8 мм, а микрофилтров 0,04-0,07 мм. Рабочая сетка располагается между

поддерживающими слоями, имеющими ячейки размером 10x10 мм. Схема барабанного сита с механической очисткой сетки приведена на рисунке 4.8.

Барабан погружен в воду на глубину 0,6-0,85 от диаметра и вращается в камере со скоростью 0,1-0,5 м/с. Сточная вода может фильтроваться как через внутреннюю, так и через наружную поверхность барабана в зависимости от его конструкции. Скорость процеживания 0,8-1,0 м/с. Задержанные сеткой примеси могут смываться промывной водой с давлением 0,15-0,2 МПа и удаляться вместе с ней или удаляются механически.

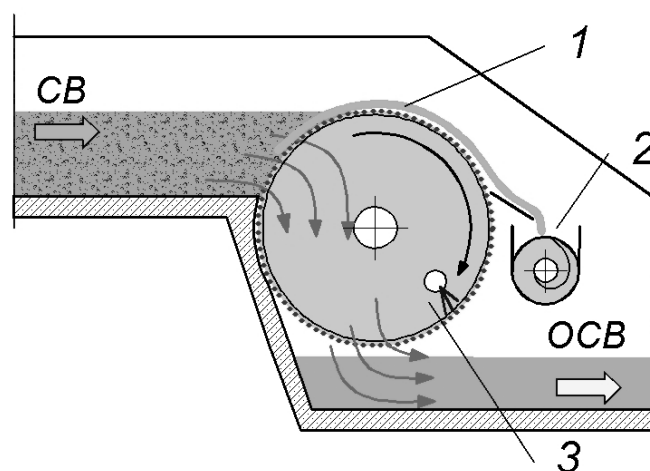


Рис. 4.8. Схема барабанного сита с механической очисткой сетки:

1 – барабан; 2 – шнековый транспортер; 3 – промывное устройство.

Эффективность очистки воды на барабанных сетках 40-45 %, а на микрофильтрах 40-60 %. Производительность сита зависит от диаметра барабана (1,5-3,0 м) и его длины (1-4,5 м) и составляет до 1500 м³/ч.

Волокноуловители разных конструкций применяют для удаления волокна из сточных вод предприятий.

Волокноуловитель дискового типа (рис. 4.9) предназначен для извлечения волокнистых загрязняющих веществ из сточных вод предприятий шерстяной промышленности. Поступающие сточные воды через распределительное устройство 1 изливаются на поверхность фильтрующего диска 2. Вода процеживается и стекает в отводящий канал. Волокна, отлагающиеся на поверхности фильтрующего диска, отделяются устройством 3 и направляются на транспортер 5 для последующей утилизации.

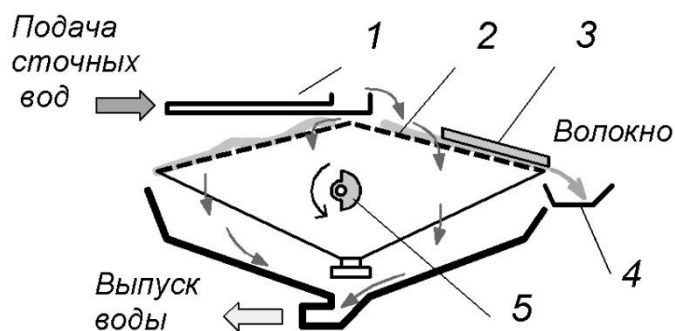


Рис. 4.9. Волокноуловитель дисковый вибрационного типа:

1 – водораспределитель; 2 – диск с отверстиями; 3 – устройство для снятия волокна; 4 – сборник волокна; 5 – вибратор.

Интенсификация работы волокноуловителя и съема волокна осуществляется вибрацией процеживающей поверхности.

Производительность волокноуловителя до 120...140 м³/ч, эффективность задержания волокна 80...90%.

Существенным недостатком дискового волокноуловителя является необходимость создания значительного перепада уровней воды в подводящем и отводном каналах.

Волокноуловители ленточного типа (рис. 4.10) более просты в эксплуатации и не требуют создания большого перепада уровней в подводящих и отводных каналах. Благодаря этому, они могут устанавливаться непосредственно перед цеховыми выпусками. Процеживание сточных вод осуществляется через полиамидную сетку 2 с ячейками размером 1,0 x 1,0 мм. Материал сетки способствует эффективному задерживанию частицы волокон и способствует более полному их отделению устройством 3. Эффективность задержания волокна составляет 50...80%.

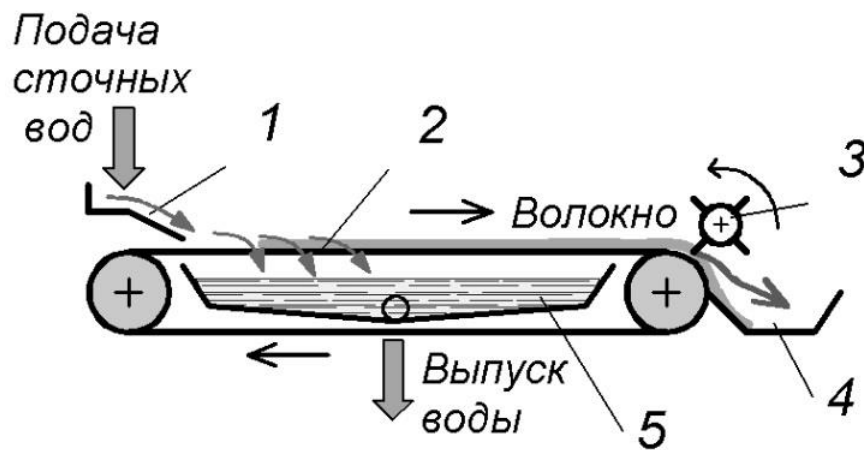


Рис. 4.10. Волокноуловитель ленточного типа:

1 – распределительный лоток; 2 – фильтрующая полиамидная сетка;
3 – барабан со щетками для сброса волокна; 4 – сборник волокна; 5 – поддон для очищенной воды.

Плоская подъемная сетка представляет собой проволочное полотно, натянутое на стальную раму. Рабочая сетка изготавливается из проволоки диаметром 1-1,5 мм с ячейками от 2х2 до 5х5 мм, поддерживающая из более толстой проволоки диаметром 2-5 мм с ячейками 20х20 мм. Размеры таких сеток 0,8х2 м. Скорость прохождения воды в них 0,2-0,4 м/с.

Для разделения взвешенных веществ на фракции могут быть использованы фракционаторы, основной частью которых является вертикальная сетка, разделяющая емкость на две части. Диаметр отверстий сетки 0,06-0,1 мм. При разделении 50-80 % взвешенных частиц остается в грубой фракции.

Для удаления из сточной жидкости очень мелких нерастворенных частиц за рубежом применяют микропроцеживатели.

Микропроцеживатель (рис. 4.11.) представляет собой барабан, помещенный в резервуар. Сточные воды поступают во внутреннюю часть барабана 1 и фильтруются через его боковую поверхность, покрытую фильтрующей сеткой в резервуар 5. Очищенная вода из резервуара отводится самотеком. Извлекаемые частицы загрязнений откладываются на внутренней поверхности барабана, откуда смываются промывным устройством 2 в сборный лоток 3. Отвод грязных промывных вод осуществляется по трубопроводу 4.

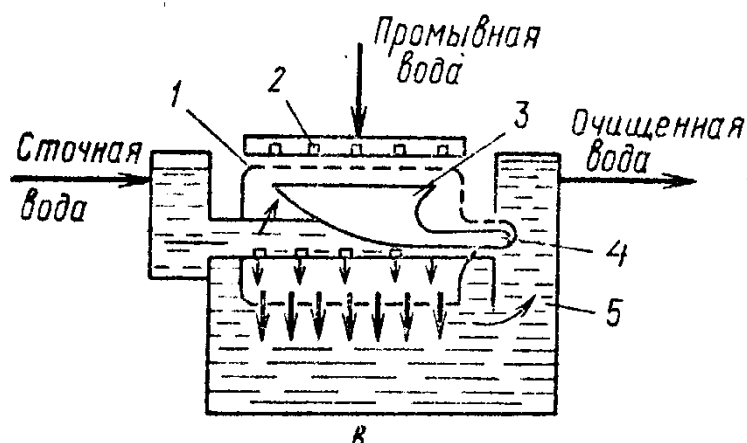


Рис. 4.11. Схема устройства микропроцеживателя: 1— вращающий барабан; 2 — устройство для промывки; 3 — лоток для сбора промывных вод; 4 — труба для отвода промывных вод; 5 — камера для удаления осветленной воды.

Микропроцеживатели имеют диаметр барабана 0,75... 3 м. Пропускная способность микропроцеживателей 20000...45000 м³/сут.

Для разделения взвешенных веществ на фракции могут быть использованы *фракционаторы*, основной частью которых является вертикальная сетка, разделяющая емкость на две части. Диаметр отверстий сетки 0,06-0,1 мм. При разделении 50-80 % взвешенных частиц остается в грубой фракции.

Очистка сточных вод инерционным разделением

Назначение инерционных разделителей — извлечение дисперсных загрязняющих веществ, имеющих плотность, отличающуюся от плотности воды, в поле центростремительных сил.

Оборудование для очистки сточных вод, использующее этот принцип, представлено разными типами гидроциклонов, жидкостных сепараторов и центрифуг.

Гидроциклоны осуществляют разделение твердых загрязняющих веществ и воды с использованием сил инерции. Их применяют для осветления сточных

вод и сгущения осадков. По конструктивным особенностям они разделяются на напорные и открытые.

Гидроциклоны просты по устройству, компактны, легко обслуживаются, имеют высокую производительность, невысокую стоимость. Вращательное движение жидкости в гидроциклоне, приводящее к сепарации частиц, обеспечивается тангенциальным подводом воды к цилиндрическому корпусу. Вращение потока способствует агломерации частиц и увеличению их гидравлической крупности. При высоких скоростях вращения центробежные силы значительно больше сил тяжести. Скорость движения частицы в жидкости зависит от ее диаметра, разности плотностей фаз, вязкости и плотности сточной воды, ускорения центробежного поля. При больших значениях скоростей и малых радиусах гидроциклонов сила, действующая на частицу взвеси во вращающейся жидкости, будет значительно превосходить скорость их свободного осаждения.

Кроме физических свойств жидкости, на эффективность работы гидроциклонов влияют конструктивные размеры (диаметр аппарата и устройство впускных и выпускных патрубков). Чем меньше диаметр гидроциклона, тем выше (при одинаковом напоре) его эффективность.

Напорные гидроциклоны используют для выделения только агрегатоустойчивых грубодисперсных примесей, имеющих плотность отличающуюся от плотности воды. В большинстве случаев их применяют для отделения тяжелых примесей.

Очистка воды в гидроциклоне осуществляется следующим образом (рис. 4.12). Загрязненная вода с большой скоростью поступает по патрубку 2 внутрь цилиндрической части циклона 3, где создается внешний винтовой поток жидкости 4, направленный вниз.

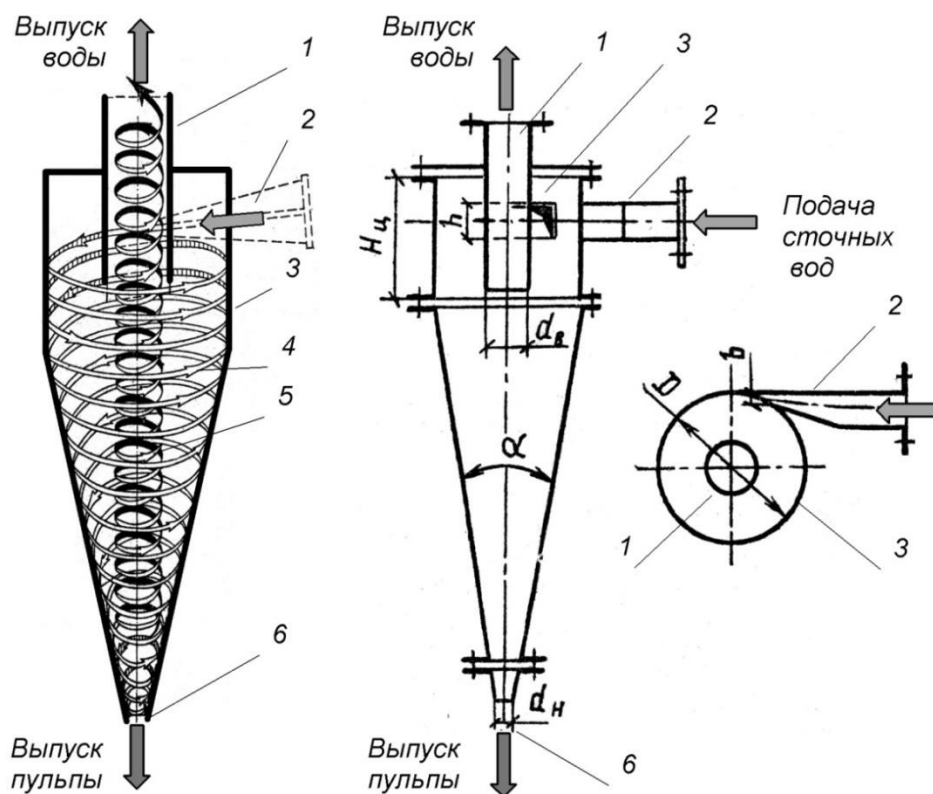


Рис. 4.12. Принцип работы и схема напорного гидроциклона:

1 — внутренний цилиндр; 2 — впускной патрубок; 3 — внешний цилиндр; 4 и 5 — внутренний и внешний винтовой потоки; 6 — сливной патрубок.

Под действием центробежных сил частицы, имеющие различные плотности распределяются так, что самые тяжелые приближаются к внутренней поверхности внешнего цилиндра, а легкие и вода образуют внутренний винтовой поток 5, направленный вверх и отводятся через внутренний цилиндр 1. Тяжелые частицы во внешнем винтовом потоке смещаются по конической части к выпускному патрубку 6 и выводятся в виде концентрированной пульпы.

Главные недостатки напорных гидроциклонов — большой расход электроэнергии, а также износ стенок устройства. Для предотвращения износа изнутри стенки футеруются износостойкими материалами.

Открытые гидроциклоны используют для выделения из сточных вод оседающих и грубодисперсных всплывающих примесей. Открытые гидроциклоны бывают без внутренних устройств, с внутренней конической диафрагмой и внутренней цилиндрической перегородкой (рис. 4.13).

Открытые ГЦ применяют для выделения грубодисперсных примесей (ГДП) с гидравлической крупностью $U_0 > 0,2$ мм/с.

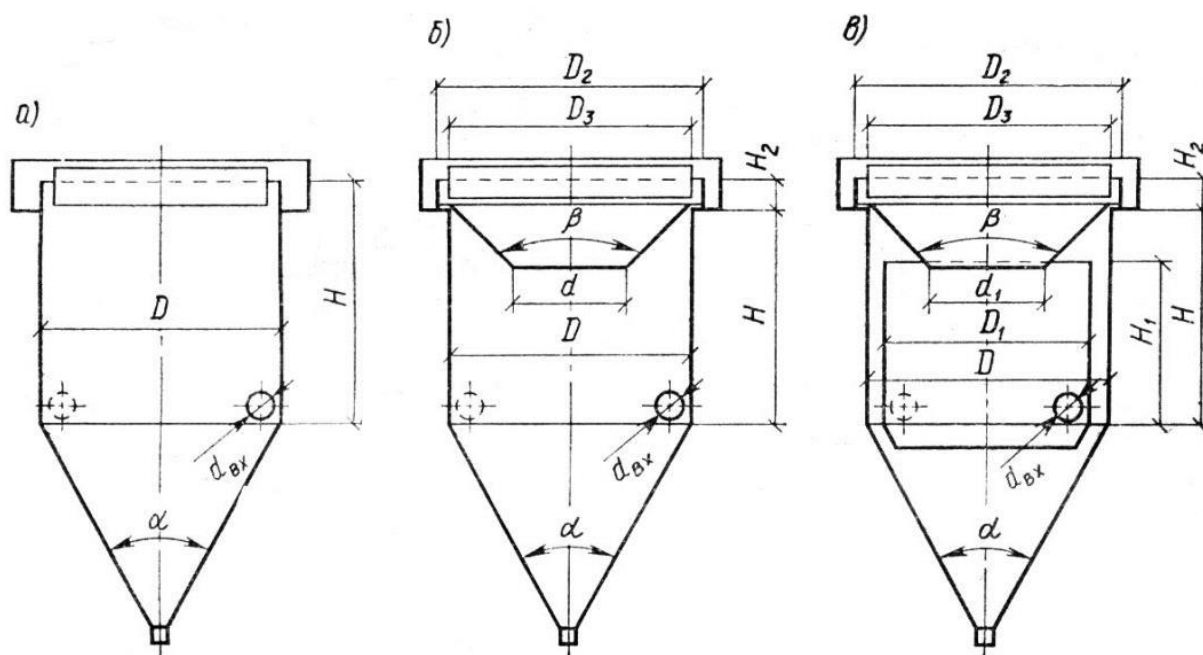


Рис. 4.13. Открытые гидроциклоны:

а — гидроциклон без внутренних устройств; б — гидроциклон с внутренней диафрагмой; в — гидроциклон с внутренней диафрагмой и внутренним цилиндром.

Многоярусные гидроциклоны применяют для выделения тяжелых грубодисперсных примесей и нефтепродуктов, не способных к агломерации.

Конструкция открытого многоярусного гидроциклона показана на рис. 4.14.

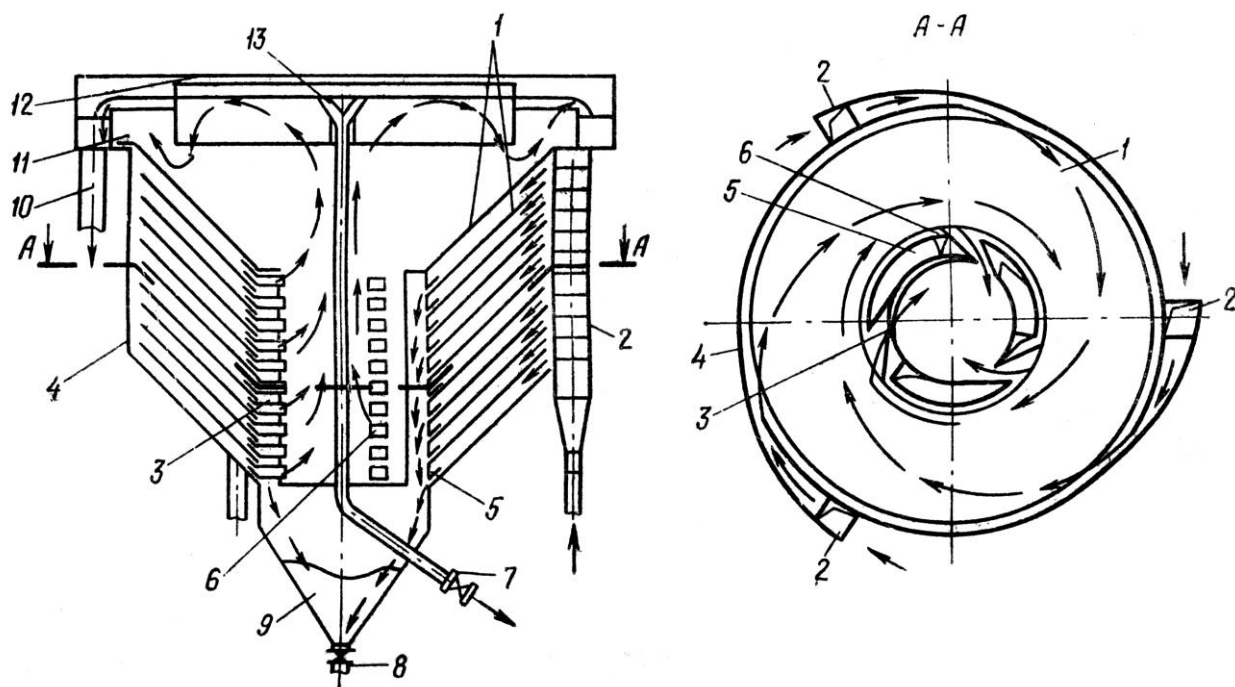


Рис. 4.14. Многоярусный открытый низконапорный гидроциклон:

1 — конические диафрагмы; 2 — впускные камеры; 3 — насадки для отвода воды; 4 — корпус; 5 — шламоприемные щели; 6 — окна для отвода масел; 7 — трубопровод для отвода масел; 8 — трубопровод для отвода пульпы; 9 — бункер для шлама; 10 — выпуск очищенной воды; 11 — водосливная стенка; 12 — маслоудерживающий щит; 13 — воронка приема масел.

Сточная жидкость вводится тангенциально через камеры 7 в пространство между разделительными тарелками 2. Шлам собирается в бункере 3. Плавающие примеси, например масло, поднимаются вверх и попадают в воронку 6. Осветленная вода отводится через водослив 4. Достоинства гидроциклонов — их компактность и простота обслуживания. Кроме этого, они имеют высокую пропускную способность. Обобщенные показатели открытых гидроциклонов приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2

Показатели открытых гидроциклонов

Показатели	Вид гидроциклона			
	Без внутренних устройств	С конической диафрагмой	С конической диафрагмой и внутренним цилиндром	Многоярусный
Гидр. крупность задерживаемых частиц, U_0 , мм/с	≥ 5	≥ 2	$> 0,2$	$> 0,5$
Диаметр ГЦ, D , м	2...10	2...6	2...6	2...6
Угол конической части, α , град	60°	60°	60°	60°
Угол конуса диафрагмы, β , град	-	90°	90°	60...90°
Высота цилиндрической части, H	D	D	$D + 0,5$	-
Высота яруса, м	-	-	-	0,15...0,2
Показатель внутренних устройств, K	0,61	1,96	1,98	$\frac{D^2 - D_{ц}^2}{D^2}$

Жидкостные сепараторы предназначены для разделения эмульсий и суспензий в поле центробежных сил. Особенность их устройства заключается в малых величинах длины пути разделения. На рис. 4.15 дана схема устройства барабана сепаратора.

Сепаратор работает следующим образом. Сточная вода по центральной питающей трубе поступает во внутреннюю полость тарелкодержателя, а затем в шламовое пространство барабана, где под действием центробежной силы наиболее крупные и тяжелые частицы отбрасываются к периферии. Вода с частицами, размер и удельный вес которых недостаточно велики для выделения в шламовом пространстве, направляется в пакет конических тарелок.

Тонкослойный ламинарный поток влечет в межтарелочные пространства мельчайшие частицы осадка, которые, оседая на внутренних поверхностях тарелок, соскальзывают с них в шламовое пространство. Фугат поднимается по

наружным каналам тарелкодержателя в камеру напорного диска и выводится из барабана. Сепарация продолжается до полного заполнения шламового пространства осадком. Затем механизмом разгрузки шлам выбрасывается в приемник шлама.

Предварительная реагентная обработка сточных вод позволяет значительно повысить эффект очистки на жидкостных сепараторах. Механические сепараторы получили распространение для очистки сточных вод промышленных предприятий, использующих аналогичное оборудование в технологии основного производства.

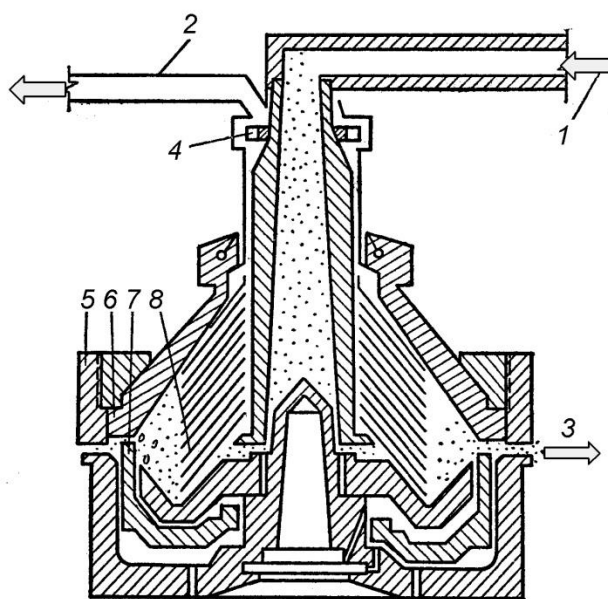


Рис. 4.15. Барабан сепаратора с пульсирующей выгрузкой шлама (в работе при выгрузке):
1 — подача сточной воды; 2 — выпуск очищенной воды (фугата); 3 — выпуск шлама; 4 — напорный диск; 5 — уплотнительное кольцо; 6 — крышка; 7 — поршень; 8 — тарелки.

Центрифуги в последнее время находят все более широкое применение для осветления сточных вод. Чаще всего используют осадительные центрифуги непрерывного или периодического действия для локальной очистки сточных вод, когда выделенный осадок благодаря ценным свойствам должен быть утилизирован. Наибольшее распространение получили осадительные горизонтальные шнековые центрифуги непрерывного действия типа ОГШ,

центрифуги периодического действия маятникового типа ОМ и осветляющие трубчатые типа ОТР. Жидкостные центрифуги применяют при расходе производственных сточных вод $50 \dots 100 \text{ м}^3/\text{ч}$, для выделения частиц с гидравлической крупностью $0,05 \dots 0,2 \text{ мм/с}$

Центрифуги периодического действия обычно применяют при концентрации взвешенных веществ не более $2 \dots 3 \text{ г/л}$. На рисунке 4.16 приведена схема ротора горизонтальной осадительной центрифуги. Отделение тяжелой фазы в поле центробежных сил происходит во внутренней полости ротора, куда подается сточная вода через отверстия в шнеке. Вследствие вращения ротора, осадок на его внутренней поверхности уплотняется и перемещается в зону разгрузки шнеком, который вращается со скоростью, несколько отличающейся от скорости вращения ротора.

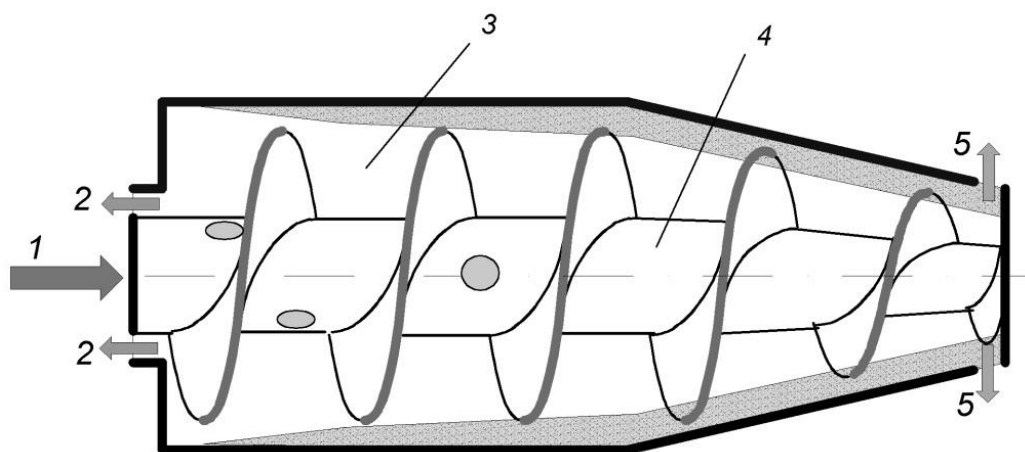


Рис. 4.16. Схема ротора центрифуги типа ОГШ:

1 — подача сточной воды; 2 — выпуск воды (фугата); 3 — зона разделения в корпусе ротора; 4 — шнек ротора; 5 — зона разгрузки отвод кека.

Достоинством методов очистки сточных вод с использованием центробежных и инерционных сил является большая производительность оборудования и компактность его размещения. К общим недостаткам следует отнести значительный вынос дисперсной фазы с очищенной водой. Поэтому наиболее эффективно этот тип разделителей

использовать на стадии предварительной очистки сточных вод с высоким содержанием взвешенных веществ.

Очистка сточных вод гравитационным разделением

Отстаивание производственных сточных вод применяют для отделения нерастворенных загрязнений минерального и органического происхождения, проявляющих свойства осаждения или всплывания.

Отстойники предназначены для выделения оседающих и всплывающих нерастворенных примесей. Отстойники являются основными сооружениями для механической очистки сточных вод, используются для удаления оседающих или всплывающих примесей сточных вод, главным образом, органических.

В зависимости от назначения отстойников в технологической схеме очистной станции они подразделяются на первичные, устанавливаемые в начале технологической схемы перед сооружениями биологической или физико-химической очистки, вторичные – для отделения вторичных загрязняющих веществ, и т.д. По своей конструкции они мало отличаются от отстойников, применяемых для осветления бытовых сточных вод.

По режиму работы различают отстойники периодического действия (контактные) и непрерывные (проточные). Первые применяются для очистки малых количеств сточных вод, вторые - для очистки любых объемов загрязненных вод.

Отстойники разделяются на три основных конструктивных типа в зависимости от направления движения воды. В очистных системах производственных сточных вод используют горизонтальные, радиальные и вертикальные отстойники.

Тип отстойника и его конструкцию следует выбирать в зависимости от производительности, концентрации и характера нерастворенных примесей в воде, способа обработки осадка, уровня стояния грунтовых вод, местных

условий площадки строительства. В каждом конкретном случае выбор типа отстойников должен определяться в результате технико-экономического сравнения нескольких вариантов.

В зависимости от вида сточных вод и требований к очищенной воде отстойники могут полностью обеспечивать необходимую эффективность очистки воды или входить в систему очистных сооружений. Так, на заводах черной металлургии сточные воды, получаемые в результате очистки газа, а также от прокатных цехов и от грануляции шлака, вполне достаточно очищать только в отстойниках, затем их можно использовать снова. В тоже время, на фабриках, где обрабатывают продукты животного происхождения, на шерстомойках, кожевенных и клееваренных заводах, суконных фабриках и т. п. отстойники служат сооружениями для предварительной обработки воды (первичные) или для отделения биомассы (вторичные) на биологических очистных сооружениях.

В большинстве случаев эффект очистки в отстойниках составляет 50-70 % при продолжительности отстаивания 1-3 ч. Эффективность работы осветлителей достигает 70 %. Для улучшения отстаивания в сточную воду вводят коагулянты и флокулянты, способствующие увеличению скорости осаждения взвешенных частиц.

Осветлители применяют для очистки и предварительного осветления сточных вод некоторых производств. Наиболее часто осветлители со взвешенным слоем осадка применяют в схемах очистки воды с коагулированием. В осветлитель подают воду, предварительно обработанную коагулянтом.

Принципиальная схема осветлителя показана на рис. 4.17.

Сточные воды с добавленным предварительно коагулянтом подают в нижнюю часть осветлителя 1. Хлопья коагулянта и увлекаемые им частицы взвеси поднимаются восходящим потоком воды до тех пор, пока скорость их оседания не станет равной скорости восходящего потока в сечении I-I. Выше этого сечения образуется слой взвешенного осадка, через который фильтруется

осветляемая вода. При этом наблюдается процесс слипания частиц взвеси и хлопьев коагулянта. Осадок отводится в осадкоуплотнитель 3, а осветленная вода поступает в желоб, из которого ее направляют на дальнейшую очистку.

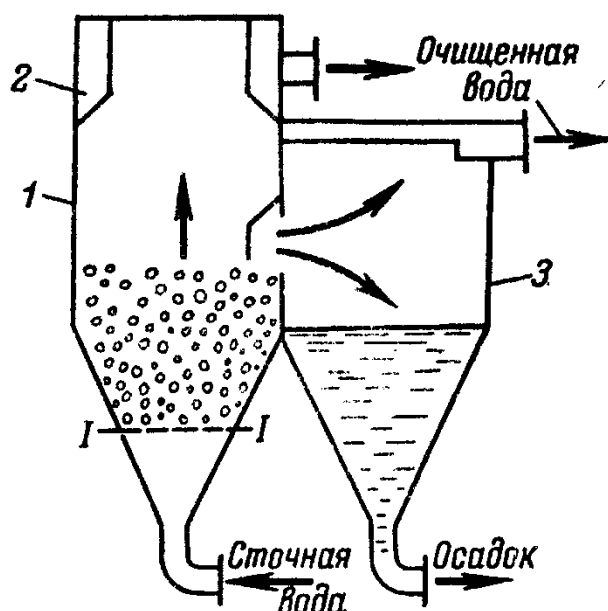


Рис. 4.17. Блок осветлителя со взвешенным слоем осадка и уплотнителя:

1 — осветлитель; 2 — желоб; 3 — осадкоуплотнитель.

Для отделения всплывающих нерастворенных примесей используют жироловки, нефтеловушки, бензиноуловители.

Жироотделители (жироловки) предусматривают для предварительной обработки сточных вод, содержащих большое количество жиров. Например, на мясокомбинатах, молочных заводах, предприятиях пищевой промышленности, общественного питания и других. Особенность физических свойств жиров и жироподобных загрязняющих веществ состоит в их термопластичности. Это означает, что эти вещества при понижении температуры воды интенсивно отлагаются на всех поверхностях, ограничивающих поток воды. Поэтому отделение жиров необходимо выделять из сточных вод до их выпуска в водоотводящую сеть.

Сточные воды, содержащие жиры и масла (сточные воды столовых, фабрик-кухонь, мясокомбинатов, маслозаводов, фабрик первичной обработки шерсти и др.) в количестве более 100 мг/л, пропускают через жироловки.

Различают цеховые и общие жироотделители. Цеховые жироотделители устанавливают у отдельных цехов, сточные воды которых содержат много жира, а общие жироотделители на общем стоке жиросодержащих вод.

В зависимости от количества задерживаемых жиров последние удаляются из жироловок при помощи насосов и вакуумных установок. При удалении жира насосами или вакуумными установками его подогревают до 45—50° С.

Цеховые жироотделители обычно имеют вид прямоугольных резервуаров глубиной (проточной части) не более 2 м. Продолжительность пребывания в них сточной жидкости принимается равной 5—7 мин.

В начале и конце жироотделителя устанавливают не доходящие (на 0,3—0,5 м) до дна поперечные перегородки.

Общие жироотделители рассчитываются на более продолжительное пребывание в них жиросодержащей воды.

Скорость потока в горизонтальных жироотделителях рекомендуется принимать равной 0,5 мм/с, в вертикальных — 0,3—0,4 мм/с.

Диаметр жировых частиц, задерживаемых в жироотделителях, принимают равным 0,008—0,01 см, плотность всплывающего жира при 50° С— 0,9 г/см³.

Жиросодержащая сточная вода поступает в распределительный лоток и далее в отстойную часть жироотделителя. Для задержания всплывших веществ служит полузатопленная стенка в конце жироотделителя, а для сбора — поворотные щелевые трубы, установленные в конце каждой секции. Трубы могут вращаться вокруг своей оси, регулируя этим высоту снимаемого слоя жира.

Простейший жироотделитель представляет собой горизонтальный резервуар, в котором всплывающие вещества (жиры) за период прохождения по нему жидкости успевают подняться вверх, где могут быть отделены от

сточной жидкости (рис. 4.18). Для ускорения этого процесса толщу жидкости в жироловке иногда продувают воздухом. В зоне разделения устанавливают датчик уровня выделившегося жира. При достижении заданной толщины жирового слоя жиротделитель освобождают от жиромассы и осадка. Предварительно подогретый до 45...50 °С жир удаляется из жироловок с помощью насосов или вакуумных установок.

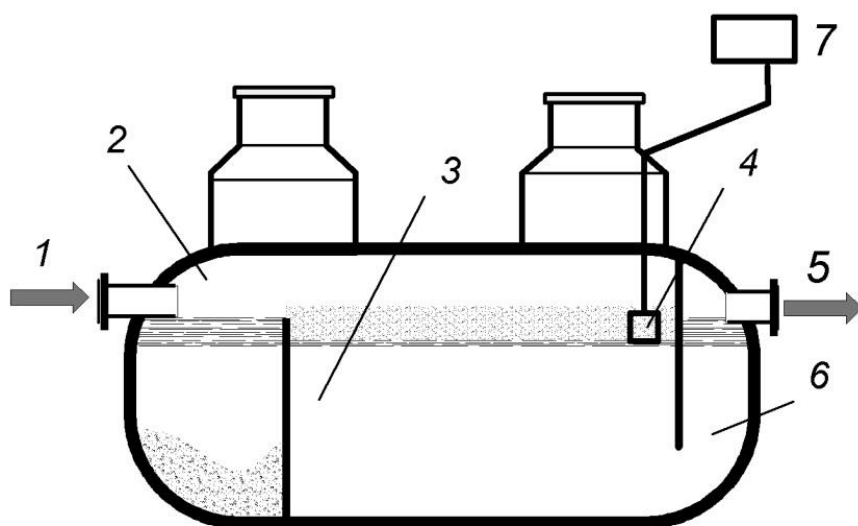


Рис. 4.18. Схема горизонтальной жироловки заглубленного типа:

1 – подача сточных вод; 2 – приемная камера; 3 – зона разделения; 4 – датчик уровня жира; 5 – выпуск очищенной воды; 6 – зона осветленной воды; 7 – регистратор уровня жира.

Нефтеловушки применяют для очистки производственных сточных вод, содержащих нефтепродукты. Простейшие нефтеловушки - это прямоугольные, вытянутые в длину резервуары, в которых за счет разности плотности нефти и воды происходит их разделение. Нефть, находящаяся в воде в виде частиц различного размера, всплывает на поверхность, а минеральные примеси оседают на дно.

В нефтеловушке (рис. 4.19) сточная вода через щелевую перегородку поступает в отстойную камеру, в которой нефть и нефтепродукты всплывают на поверхность. Нефть собирается в начале и в конце секции щелевыми поворотными трубами.

Для сгона нефти, сбора осадка и сгребания его в приямок применяется скребковый транспортер. Глубина проточной части нефтеловушек принимается 2 м, а ширина секции 3—6 м. Осадок из приямка нефтеловушки удаляется 1—2

раза в сутки с помощью гидроэлеваторов или через донные клапаны. При нормальной эксплуатации в нефтеловушках задерживается до 98 % нефтепродуктов. Остаточное содержание нефти может достигать 100 мг/л, поэтому часто эти воды направляют на биологическую очистку.

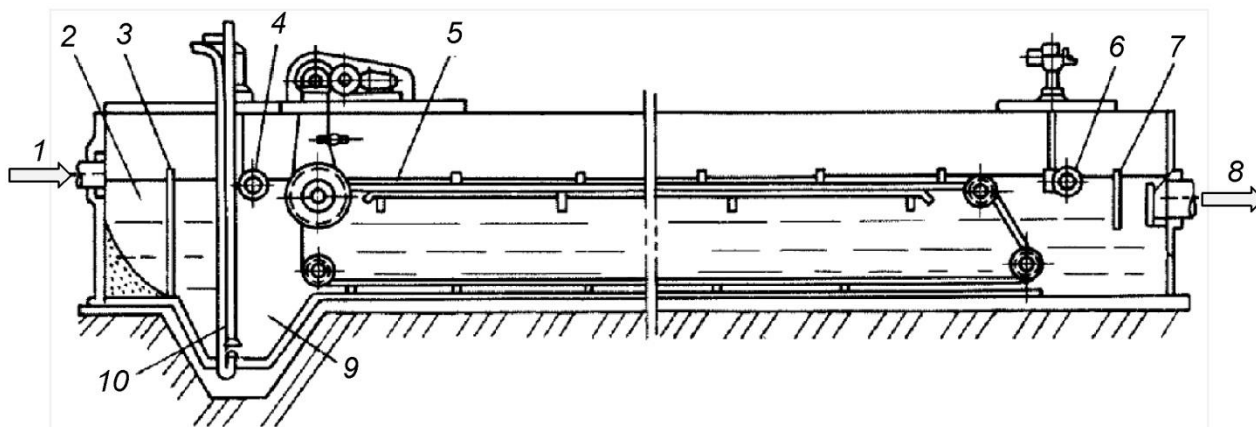


Рис. 4.19. Нефтеловушка горизонтального типа:

1, 8 – поступающие и очищенные сточные воды; 2 – входная камера; 3 – щелевая распределительная перегородка; 4, 6 – поворотная нефтесборная труба; 5 – скребковый транспортер; 7 – полупогруженная перегородка; 9 – приямок; 10 – гидроэлеватор.

Интенсификация работы нефтеловушек достигается оборудованием их тонкослойными вставками. В ряде конструкций эти вставки выполнены из гидрофобных материалов, способствующих укрупнению частиц нефти или масел. Приведенная на рис. 4.20 тонкослойная нефтеловушка, по сравнению с горизонтальной имеет строительный объем в 5...6 раз меньший и стоимость ее на 20...30 % ниже при равном эффекте задержания нефти.

В тонкослойной нефтеловушке сточная вода из распределительной камеры поступает в разделительные секции, где через поперечную распределительную трубу с вертикальными патрубками и диффузорами распределяется по ширине и глубине зоны грубой очистки.

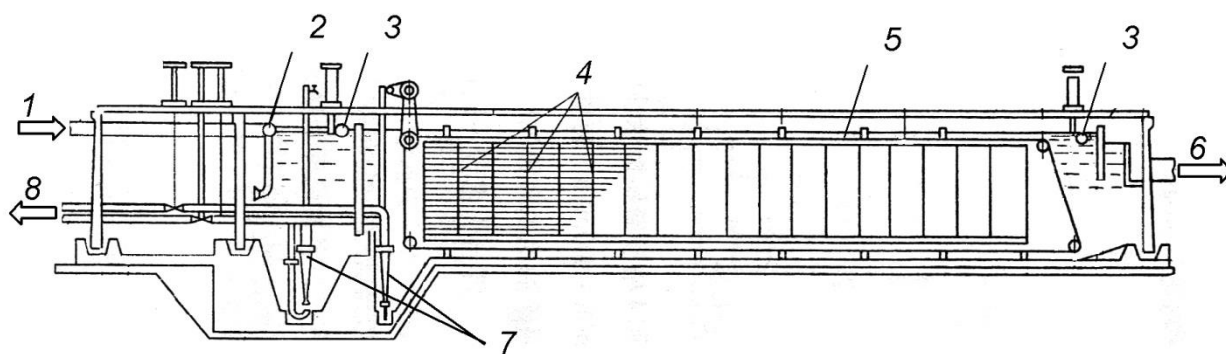


Рис. 4.20. Нефтеловушка с тонкослойными модулями:

- 1, 8 – поступающие и очищенные сточные воды; 2 — водораспределительная труба;
3 — нефтесборная труба с ручным приводом; 4 — блок тонкослойных модулей;
5 - скребковый транспортер; 7 — гидроэлеваторы.*

В этой зоне вода находится в течение 2...4 мин. Затем вода проходит через пропорциональное водораспределительное устройство и поступает в межполочное пространство блока тонкослойных вставок. При движении потока в ярусах блока вдоль сооружения частицы нефти всплывают к верхним плоскостям яруса, движутся по ним вверх к периферии и в пространстве между блоками и стенкой нефтеловушки всплывают на поверхность воды. Тяжелые примеси осаждаются в межполочном пространстве и сползают по плоскостям вниз. Осветленная вода через водослив поступает в водосборный лоток.

В зоне грубой очистки нефть постоянно отводится через щелевую поворотную трубу. Нефть, всплывшая над полочными блоками, сгоняется скребками к концу отстойной зоны и через вторую щелевую поворотную трубу периодически отводится. Осадок из блоков сползает к центральной части в лоток, откуда скребками транспортируется в приямок зоны грубой очистки, оборудованной гидроэлеватором.

В тонкослойных нефтеловушках практически исключено влияние плотностных и конвекционных потоков; равномерное распределение рабочего потока сохраняется по всей длине сооружения. Продолжительность процесса осветления сточных вод до требуемой степени очистки меньше, так как высота разделения в многоярусных нефтеловушках равна расстоянию по вертикали

между пластинами, что во много раз меньше высоты слоя отстаивания в обычной нефтеловушке.

Очистка сточных вод, содержащих нефть и нефтепродукты в больших концентрациях, осуществляется в перекрытых очистных сооружениях для предотвращения выделения в атмосферу газов и нефтяных паров (Рис. 4.21). Особенно это важно для нагретых сточных вод, а также для сточных вод, загрязненных сырой нефтью.

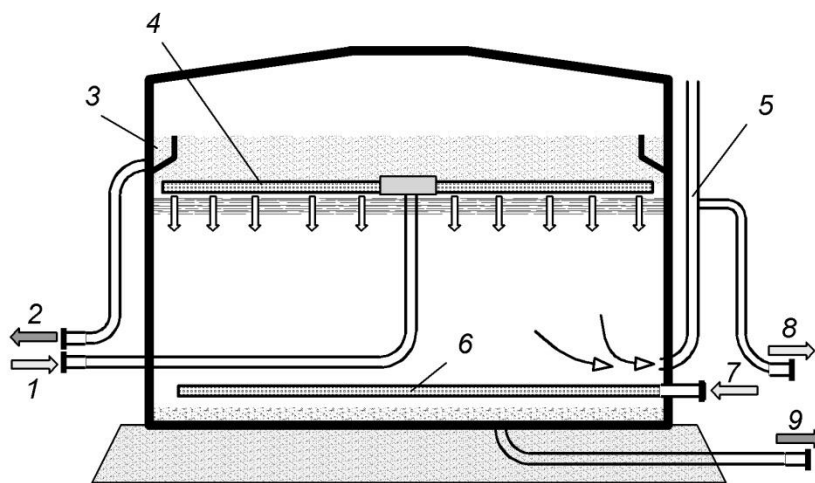


Рис. 4.21. Схема перекрытого резервуара - отстойника для очистки нефтепромысловых сточных вод: 1, 8 – поступающие и очищенные сточные воды; 2 - трубопровод отвода уловленной нефти; 3 - кольцевой короб сбора уловленной нефти; 4 - лучевой распределитель ввода загрязнённой воды; 5 - сифонный регулятор для поддержания уровня раздела фаз "нефть-вода" и отвода очищенной воды; 6 – трубопровод размыва осадка; 7 - подача воды для размыва осадка; 9 - трубопровод отвода ила.

Загрязнённая нефтью и механическими примесями вода подаётся в отстойник по трубопроводу через лучевой распределитель. Очищенная вода через сифонный регулятор отводится на приём водяных насосов и откачивается на промысел для закачки в пласт. Уловленная нефть через кольцевой короб и трубопровод отводится на установку подготовки нефти. Механические примеси, оседающие в нижней части отстойника, периодически размываются струёй воды и сбрасываются по трубопроводу в илонакопитель.

Бензиноуловители устраивают если в производственных сточных водах содержится большое количество бензина или других легких фракций нефтепродуктов. Схема бензиноуловителя, совмещенного с колодцем системы водоотведения приведена на рисунке 4.22.

Сточные воды поступают в стальной конический резервуар, размещенный в перекрытом колодце. В конической части резервуара происходит отделение легких жидких нефтепродуктов, имеющих плотность до $0,8 \text{ кг/м}^3$, от воды. Легкая фаза накапливается в сборнике с уменьшенным поперечным сечением и переливается в сборную емкость.

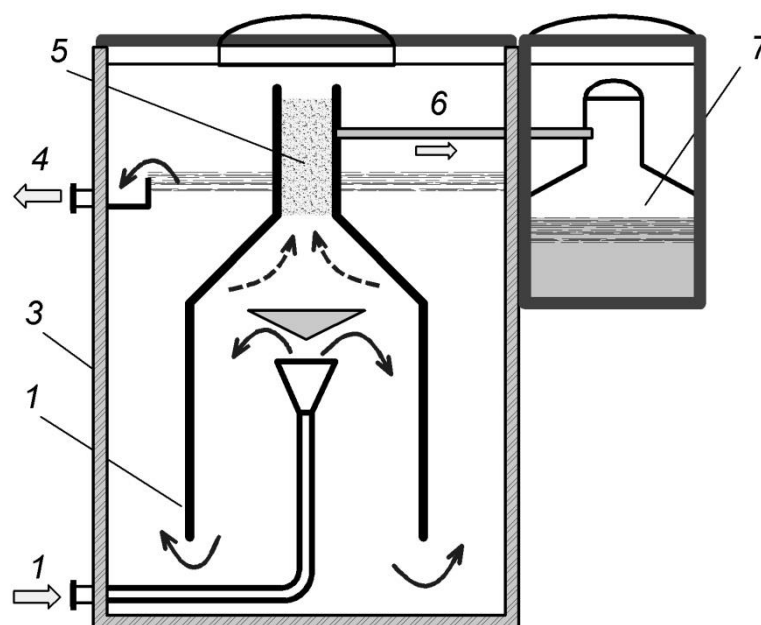


Рис. 4.22. Схема бензиноуловителя: 1, 4 – поступающие и очищенные сточные воды; 2 – стальной конус; 3 – железобетонный колодец; 5 – сборник легкой фазы; 6 – трубопровод отвода легкой фазы; 7 – емкость для сбора бензина и легких фракций нефтепродуктов.

Очищенные сточные воды выводятся из колодца через горизонтальный кольцевой водослив. Бензиноуловители требуют регулярного освобождения от задержанных нефтепродуктов для обеспечения пожарной безопасности.

Общими недостатками отстойных сооружений являются большие размеры, низкая эффективность и высокая обводненность уловленных нефтепродуктов. Большие поверхности воды в сооружениях являются одним из основных

источников загрязнения атмосферы углеводородами и другими летучими веществами.

Отстойники-смоломаслоуловители (рис. 4.23). Для выделения смол из сточной жидкости применяют отстаивание и фильтрацию. Смолы обычно содержатся в сточных водах коксохимических заводов, газогенераторных станций и некоторых других предприятий. Они представляют собой ценное сырье, поэтому их необходимо улавливать наиболее полно.

Отстойники-смоломаслоуловители бывают радиального и горизонтального типов. В отстойники-смоломаслоуловители сточная вода поступает по центральной трубе, а осветленная вода отводится через затопленные отверстия в наружной стене в кольцевой водослив. Смола осаждается на дне отстойника и периодически удаляется скребковым устройством в центральный приямок, а оттуда откачивается насосом в сборник смолы. Перед откачкой выпавшую смолу подогревают паром до температуры 60 °С. Всплывшие на поверхности отстойника масла перетекают в радиальные лотки и отводятся в кольцевой сборник, расположенный вокруг центральной трубы. Масла из сборника откачиваются насосом. Средняя глубина рабочего слоя воды принимается 1,5 м, продолжительность отстаивания 3...4 ч. Эффект осветления достигает 80...90 %.

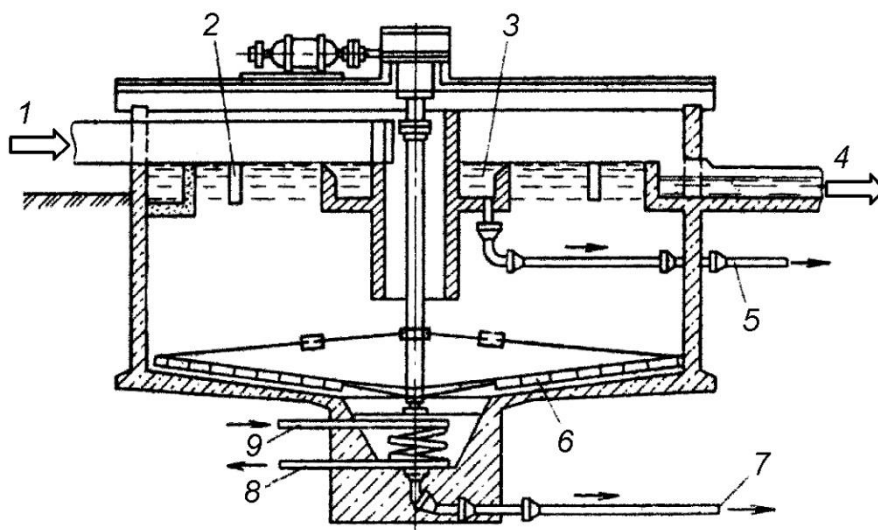


Рис. 4.23. Отстойник - смоломаслоуловитель:

1 — подводящий лоток; 2 — полупогруженная доска; 3 — лоток для сбора легких смол; 4 — лоток для отвода очищенной воды; 5 и 7 — лотки для удаления соответственно легких и тяжелых смол; 6 — скребки; 8 — трубопровод для отвода конденсата; 9 — трубопровод для подачи пара.

Интенсификация работы гравитационных разделителей

Для увеличения эффективности отстаивания используют тонкослойные (трубчатые или пластинчатые) отстойники и нефтеловушки. При малой глубине отстаивание протекает быстро, что позволяет уменьшить размеры отстойников. Эффективность трубчатых и полочных отстойников практически одинакова. Высоту тонкослойного пространства рекомендуется принимать 1-2 м, расстояние между пластинами 25-200 мм, длину 0,6-1 м. Тонкослойные блоки могут устанавливаться в корпуса обычных отстойников. Продолжительность очистки в таких отстойниках составляет 4-10 мин. Применение тонкослойных элементов позволяет значительно сократить продолжительность отстаивания и, следовательно, объем отстойников. Тонкослойные отстойники позволяют значительно интенсифицировать процесс осаждения взвесей, на 60 % уменьшить площадь застройки и на 25-30 % повысить эффект осветления воды по сравнению с обычно применяемыми отстойниками.

Как и обычные отстойники, они имеют водораспределительную, отстойную и водосборную зоны, а также зону накопления осадка. Отстойная зона полочными секциями или трубчатыми элементами делится на ряд неглубоких слоев (до 15 см). Полочные секции монтируются из плоских или волнистых пластин, удобных в эксплуатации. Трубчатые секции характеризуются большей жесткостью конструкции, обеспечивающей постоянство размеров по всей длине. Они могут работать с более высокими скоростями, чем полочные секции, но быстрее заиливаются осадками, труднее поддаются очистке и требуют повышенного расхода материалов.

Гидравлический режим работы отстойников в значительной степени влияет на эффект их работы. Чем совершеннее конструкция отстойника, тем выше эффективность задержания взвешенных веществ. Совершенство конструкций связано с условиями входа воды в отстойник, т. е. со скоростью входа воды и величиной заглубления кожуха в радиальном или распределительной перегородки в горизонтальном отстойнике. Гидравлический режим работы оценивается по коэффициентам объемного использования и полезного действия отстойников.

Преимущество тонкослойных отстойников также в том, что наличие параллельных пластин в сечении отстойника позволяет равномерно распределить поступающий поток воды и сохранить это распределение по всей длине. Следовательно, в многоярусных отстойниках коэффициент использования объема гораздо выше.

Тонкослойные отстойники классифицируются по следующим признакам: по конструкции наклонных блоков на трубчатые и полочные; по режиму работы - периодического (циклического) и непрерывного действия; по взаимному движению осветленной воды и вытесняемого осадка - с прямоточным, противоточным и смешанным (комбинированным) движением. Поперечное сечение трубчатых секций может быть прямоугольным, квадратным, шестиугольным и круглым. Полочные секции монтируются из

плоских или гофрированных листов и имеют прямоугольное сечение. Они выполняются из стали, алюминия и пластмассы (полипропилена, полиэтилена, стеклопластиков). Практическая скорость потока для полочных элементов принимается 5-10 мм/с, для трубчатых элементов - до 20 мм/с. Трубки можно устанавливать с малым (до 5°) и большим (до 45-60°) наклоном. Трубчатый отстойник с небольшим наклоном работает периодически. Сначала проводят отстаивание, затем промывку трубок от осадка. Такие отстойники используются для осветления сточных вод с небольшим содержанием взвесей при расходах от 100 м³/сут до 10 тыс. м³/сут. Эффективность очистки 80-85 %.

Перекрестная схема отличается от противоточной более простой конструкцией распределительных устройств и лучшим гидравлическим режимом в межполочном пространстве. Однако при использовании перекрестной схемы для создания жесткости параллельных пластин, объединенных в блоки, требуется увеличивать толщину пластин, что приводит к возрастанию капитальных затрат, а устройство на пластинах гофр или ребер жесткости означает потери полезной высоты отстаивания. При противоточной схеме пространство между параллельными пластинами можно секционировать перегородками, которые увеличивают жесткость блока, и это позволяет изготавливать пластины из тонких листов (толщиной 0,2-0,45 мм). В таких блоках исходный поток делится на отдельные потоки, движущиеся в самостоятельных каналах. Такие отстойники за рубежом получили название трубчатых. Их преимущество заключается в том, что при одинаковых гидравлических нагрузках движение потока в них является более ламинарным, чем при перекрестной схеме, поэтому обеспечивается большая эффективность разделения.

Очистка сточных вод фильтрованием

Эмульгированные тонкодисперсные смолы и взвешенные вещества выделяют с использованием процессов фильтрования. Материалом для неподвижной загрузки могут служить металлическая стружка или коксовая мелочь, а также бурый уголь, торф, опилки. Фильтрование обеспечивает надежное задержание загрязнений, не отделившихся при отстаивании.

Применяют фильтры зернистые, намывные и мембранные. Фильтры бывают открытые (безнапорные) и закрытые (напорные). В открытых фильтрах высота слоя загрузки равна 1...2 м. Закрытые фильтры, загруженные песком, имеют высоту фильтрующего слоя 0,5...1 м, а при загрузке гравийной мелочью — 1...1,5 м. Скорость фильтрования зависит от крупности и вида фильтрующего материала и размера задерживаемых частиц взвешенных веществ.

Зернистые фильтры применяют при невысоком содержании взвешенных веществ. Хорошо зарекомендовали себя двухслойные фильтры (рис. 4.24).

Фильтрующая загрузка этих фильтров состоит из двух слоев. Нижний слой загрузки – песок с крупностью зерен 1...2 мм, а верхний слой — антрацитовая крошка. Сточная вода подается на фильтр сверху. Через определенное время проводится промывка загрузки фильтра с целью удаления из нее задержанной взвеси. После промывки процесс фильтрования возобновляется.

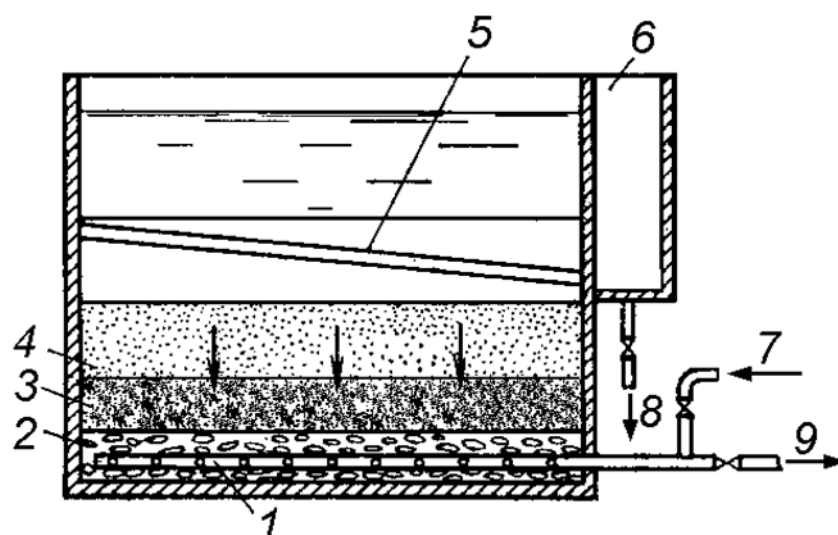


Рис. 4.24. Двухслойный фильтр:

1 — дренажная система; 2 — поддерживающий гравийный слой; 3 — антрацитовая крошка; 4 — песок; 5 — переливные желоба; 6 — подача воды на фильтрование; 7 — подача воды на промывку; 8 — отвод промывных вод; 9 — отвод фильтрата.

При реагентной очистке производственных сточных вод применяют скоростные контактные фильтры для удаления грубодисперсных и коллоидных примесей (рис. 4.25). Фильтр имеет распределительную систему, расположенную над поверхностью загрузки. Эта система позволяет избежать предварительного хлопьеобразования и создает условия для эффективной коагуляции примесей.

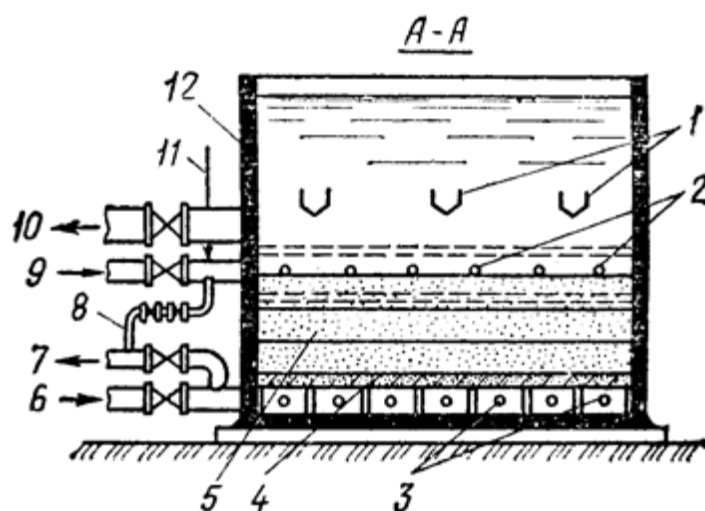


Рис. 4.25. Скоростной контактный фильтр КФ-5

1 — желоба для отвода промывной воды; 2 — распределительная система; 3 — устройство для подачи промывной воды; 4 — пористый дренаж; 5 — загрузка фильтра; 6 и 9 — трубопроводы для

подачи промывной и исходной воды; 7— трубопровод для отвода фильтрованной воды; 8 — соединительная линия с регулирующим устройством; 10 — линия сброса промывной воды; 11 — линия подачи коагулянта; 12 — корпус фильтра

Фильтры с плавающей загрузкой (ФПЗ) из вспененного полистирола применяют для глубокой очистки как механически очищенных производственных сточных вод металлургической, химической, легкой промышленности, так и биологически очищенных сточных вод — городских или их смеси с производственными. Схема фильтра с плавающей загрузкой приведена на рис. 4.26.

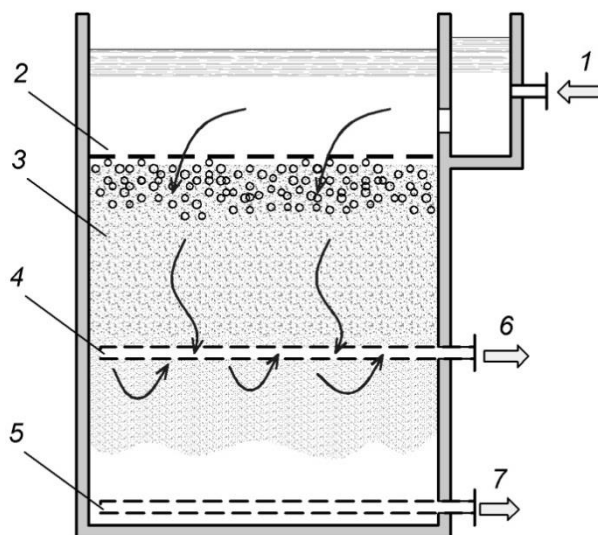


Рис. 4.26. Фильтр с плавающей пенополистирольной загрузкой:

1, 6 — поступающие и очищенные сточные воды; 2 — удерживающая решетка; 3 — плавающая загрузка; 4 — верхняя дренажная труба; 5 — нижняя дренажная труба; 7 — отвод промывной воды..

Загрузку безнапорных фильтров ФПЗ готовят на месте путем вспенивания суспензионного бисерного полистирола марки ПСВ в горячей воде или паром при 100 °С. Предварительное дробление зерен ПСВ дает возможность получать вспененную загрузку с более развитой поверхностью.

Поскольку зерна загрузки легче воды, в верхней части безнапорных фильтров для поддержания их в затопленном состоянии устанавливается

решетка, под которой загрузка самопроизвольно сортируется по убывающей сверху вниз крупности зерен диаметром от 8...12 до 0,5...1 мм.

В безнапорных фильтрах исходная сточная вода по трубопроводу 2 поступает в надфильтровое пространство и фильтруется через плавающую загрузку сверху вниз. Фильтрат собирается дренажной трубой 9 и выводится из фильтра. При достижении предельных потерь напора (1...1,5 м) загрузка фильтра промывается нисходящим потоком воды.

Температура очищаемой воды не должна превышать 50°C во избежание размягчения полистирола.

Преимущества применения ФПЗ – экономичность, простота конструкции и эксплуатации, долговечность фильтрующей загрузки, эффективность очистки и способность загрузки к гидравлической сортировке в процессе промывки по убывающей крупности гранул.

Существуют также различные конструкции фильтров, предназначенных для очистки специфических производственных сточных вод: например, кварцевые фильтры для извлечения из сточных вод соединений цинка и меди, дисковые фильтры для сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий, электромагнитный фильтр для сточных вод прокатных цехов, намывные листовые и дисковые фильтры.

Очистка сточных вод методом ультрафильтрации

В современной технологии очистки сточных вод процессы баромембранного разделения получили достаточное распространение. По дисперсности задерживаемых загрязняющих веществ мембранные процессы условно можно расположить в следующей последовательности. Отделение частиц в интервале 0,05...10,0 мкм осуществляется микрофильтрацией, в интервале 0,05...0,005 мкм – ультрафильтрацией, в интервале 0,0001...0,003 мкм – обратным осмосом. Среди методов баромембранного разделения только ультрафильтрацию можно условно отнести к гидромеханическим методам.

Полагая при этом, что растворенные и дисперсные вещества задерживаются на мембране потому, что их размер больше, чем размер пор или вследствие трения молекул о стенки пор мембраны. В действительности же в процессе ультрафильтрации имеют место более сложные явления.

Наибольшее распространение в очистке сточных вод от дисперсных органических соединений получил метод ультрафильтрации. В отличие от обратного осмоса ультрафильтрация применяется для отделения загрязняющих веществ, которые обладают молекулярной массой во много раз большей, чем вода. Движущей силой процесса является разность давлений до и после мембраны, составляющая обычно 0,2...1,0 МПа.

Конструкция аппаратов для проведения ультрафильтрации должна обеспечивать большую поверхность мембран в единице объема, простоту сборки и монтажа, механическую прочность и герметичность. Схема многокамерного аппарата фильтр-прессного типа показана на рис. 4.27.

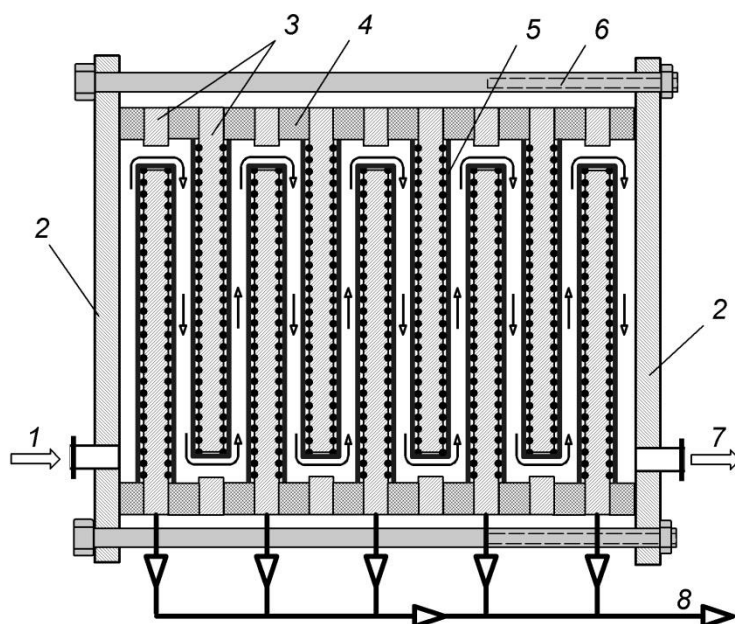


Рис. 4.27. Схема бескорпусного аппарата с мембранными элементами плоскокамерного типа:
1 и 7 - поступающая и очищенная вода (пермеат); 2 - торцевые пластины; 3 - пористая опорная
пластина; 4 - прокладка; 5 - мембрана; 6 - стягивающие шпильки; 7 - выпуск концентрата
(ретанта).

В этих аппаратах мембраны уложены с обеих сторон плоских пористых дренажных пластин, которые расположены на расстоянии 0,5...5,0 мм друг от друга. Фильтрующие элементы зажаты между двумя фланцами, стянутыми болтами. Сточная вода последовательно проходит через все элементы, концентрируется и удаляется из аппарата. Фильтрат, прошедший через мембраны, уходит через дренажные слои. Аппараты имеют невысокую производительность, так как суммарная площадь мембран изменяется в пределах 60...300 м² на 1 м³ их объема.

Величина удельной производительности мембран зависит от конкретных условий их применения. Поэтому в расчетах используют данные, полученные экспериментально. В качестве примера в табл.4.3 приведены значения удельной производительности мембран марки ПАН при использовании их для селективной очистки промывных сточных вод от нефтепродуктов.

Таблица 4.3

Удельная производительность мембран марки ПАН при температуре 20°C и концентрации нефтепродуктов в воде 0,5...1,5 г/л.

Давление, МПа	Удельная производительность, дм ³ /(м ² ·ч)			
	ПАН-50	ПАН-100	ПАН-250	ПАН-300
0,04	43	60	97	129
0,06	61	91	149	190
0,08	83	122	190	250
0,1	100	156	230	298
0,12	114	173	248	324
0,14	119	177	255	330

Выбор размеров фильтровальной камеры производится по данным производителя мембранных аппаратов. Ширина фильтровальной камеры равна ширине пластины, а высота равна толщине прокладки. Длина пути, по которому проходит разделяемая жидкость, зависит от количества соединенных последовательно фильтровальных камер.

Схема ультрафильтрационной установки для разделения маслоэмульсионных сточных вод с концентрацией масел менее 10% показана на рис. 4.28. Многокамерная установка с общей поверхностью мембран 52 м² имеет

производительность 70 м³/сут. Она работает под давлением от 0,14 до 0,42 МПа при температуре воды 32...38 °С.

В баке 6 при подогреве и добавлении серной кислоты происходит дополнительное разделение масел и воды. После этого воду возвращают в емкость 4, а масло используют в качестве топлива или направляют на рафинирование. Очищенная вода поступает на доочистку, а затем в производство.

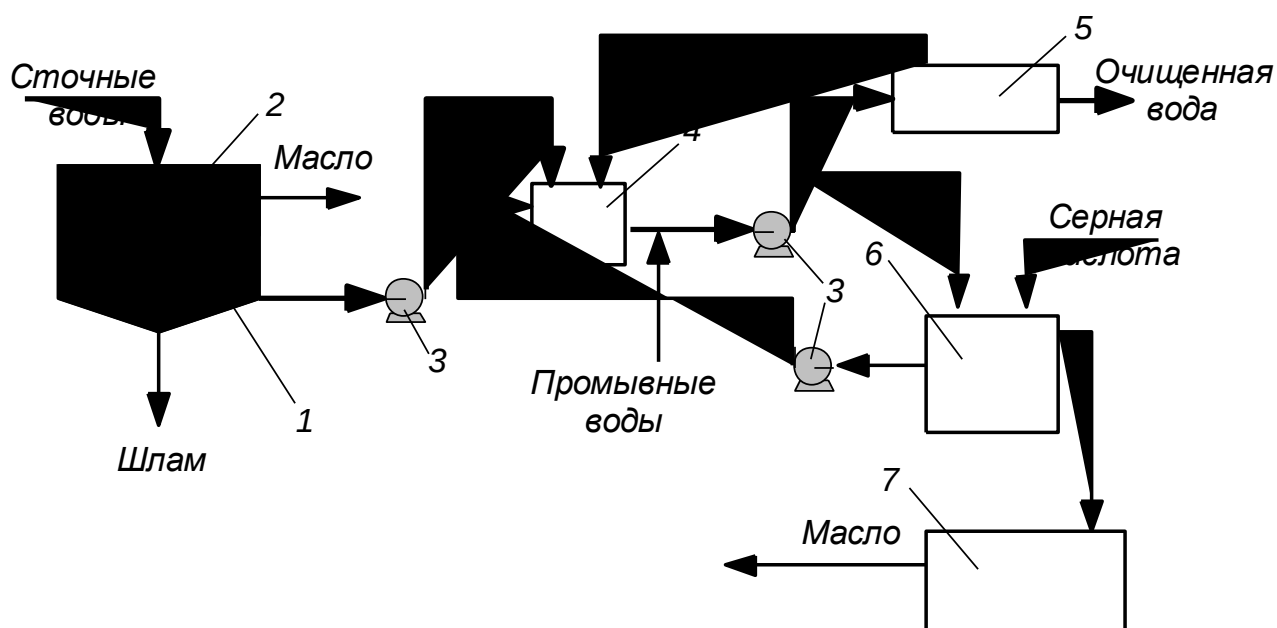


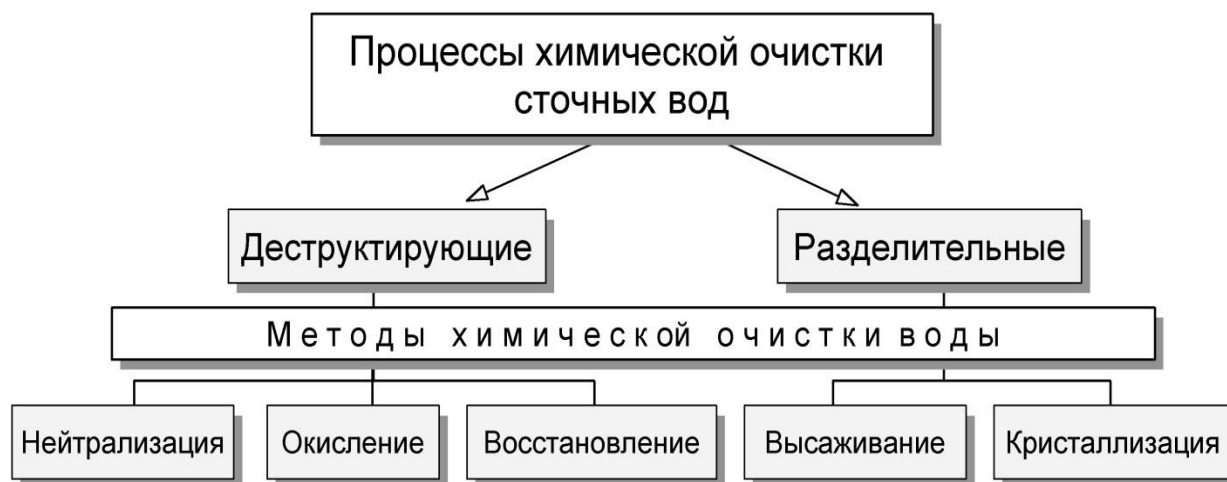
Рис. 4.28. Схема установки для разделения маслоэмульсионных сточных вод ультрафильтрацией: 1—емкость; 2—слой нерастворенных масел; 3—насосы; 4—емкость; 5—установка ультрафильтрации; 6—бак для дополнительного отделения воды; 7—емкость для масла.

4.1.3. Химические методы в системах очистки сточных вод

Загрязняющие вещества производственных сточных вод, находящиеся в ионной и молекулярной форме не могут извлекаться методами механической очистки. Однако очистка таких вод возможна с использованием химических реакций, в результате прохождения которых загрязняющие вещества перестают существовать в первоначальном виде (деструктирующие процессы) или образуют малорастворимые формы, например, гидрооксидную (рис. 4.29). На

последующих ступенях процесса очистки воды дисперсные примеси отделяют одним из методов механической очистки сточных вод (разделительные процессы).

Химические методы применяют для очистки сточных вод от неорганических и стойких органических загрязняющих веществ. При достаточной эффективности воздействия на загрязняющие вещества, химические методы могут быть использованы на предварительной, основной или завершающей стадии процесса очистки сточных вод. Они могут быть в составе комплексных технологических процессах очистки сточных вод.



*Рис. 4.29. Классификация основных процессов и методов химической очистки
производственных сточных вод*

Химическая очистка производственных сточных вод основана на процессах химического взаимодействия реагентов с загрязняющими веществами или одних загрязняющих веществ с другими при смешивании потоков сточных вод.

К методам химической очистки сточных вод относят нейтрализацию, окисление и восстановление, высаживание и кристаллизацию. Первые три метода относят к деструктивным процессам очистки сточных вод, а остальные - к разделительным.

Нейтрализация — процесс подкисления или подщелачивания воды с целью изменения величины рН и приближения ее к нейтральной.

Окисление веществ, содержащихся в сточных водах, применяется тогда, когда эти вещества нельзя извлечь или разрушить другими способами, в том числе путем биохимической деструкции. В качестве реагентов используют химические окислители. При окислении загрязняющих веществ происходит отъем электронов окислителем, что приводит к изменению валентности или деструкции загрязняющего вещества.

Восстановление — это уменьшение валентности веществ. Реакции окисления и восстановления используют для последующего получения малорастворимых соединений, а также проведения других химических или физико-химических реакций.

Высаживание — метод химической очистки сточных вод, в результате использования которого образуются малорастворимые соединения разных загрязняющих веществ или группы заданного состава.

Кристаллизация — химическая кристаллизация имеет цель выделения из сточных вод отдельных, представляющих ценность, химических веществ в наиболее чистом составе.

В технологические задачи методов химической очистки производственных сточных вод входит:

- преобразование растворенных загрязняющих веществ в малорастворимые;
- понижение уровня вредного воздействия растворенных загрязняющих веществ.

Нейтрализация сточных вод

Сточные воды промышленных предприятий с повышенным содержанием кислот или щелочей с целью предупреждения коррозии материалов и сооружений, нарушения биохимических процессов, перед сбросом их в водоем, подачу на биологические очистные сооружения или повторном использовании

в технологическом процессе должны быть нейтрализованы. К таким производственным сточным водам относятся воды предприятий химической, машиностроительной, металлургической, нефтеперерабатывающей и других отраслей промышленности.

Реакция нейтрализации - это химическая реакция между веществами, имеющими свойства кислоты и основания, которая приводит к потере характерных свойств обоих соединений:



при этом активная реакция водной среды приближается к $\text{pH}=7$. Кислые воды ($\text{pH}<7$) представляют большую опасность. Наиболее часто сточные воды загрязнены минеральными кислотами: серной, азотной, соляной, а также их смесями. Концентрация их обычно не превышает 3 %, но иногда достигает 40% и более.

Существует несколько методов нейтрализации производственных сточных вод (рис. 4.30).



Рис. 4.30. Классификация методов химической нейтрализации производственных сточных вод.

Взаимная нейтрализация - непосредственное смешивание кислых сточных вод со щелочными перед выпуском их в систему водоотведения.

Реагентная нейтрализация - добавление растворимых реагентов в соотношениях, необходимых для нейтрализации.

Контактная нейтрализация - фильтрование загрязненных вод через нейтрализующие твердые материалы.

Газовая нейтрализация - использование газообразных отходов производства.

Наиболее часто встречаются производственные сточные воды с повышенной кислотностью, которые сильно воздействуют на материалы труб и отрицательно влияют на биологические процессы, происходящие на станциях аэрации. В производственных сточных водах могут содержаться сильные кислоты первой группы (HCl , HNO_3), кальциевые соли которых хорошо растворимы в воде, сильные кислоты второй группы (H_2SO_4 , H_2SO_3), кальциевые соли которых трудно растворимы в воде, и слабые кислоты (H_2CO_3 , CH_3COOH).

Нейтрализация сильных кислот первой группы не представляет затруднений, так как образуемые ими соли растворимы в воде и никакого осадка не дают. Сильные кислоты второй группы нейтрализовать значительно сложнее, так как это сопровождается образованием большого количества малорастворимых соединений, выпадающих в осадок.

Взаимная нейтрализация сточных вод смешением

Взаимную нейтрализацию сточных вод смешением кислых и щелочных потоков применяют при небольшом их количестве. Режимы сброса сточных вод, содержащих кислоты и щелочи, как правило, различны. При этом в некоторые часы суток поступают преимущественно щелочные воды, а в другие часы суток — кислые воды. Для перемешивания таких сточных вод строят специальные сооружения резервуары-усреднители для взаимной нейтрализации сточных вод.

Схема взаимной нейтрализации кислотно-щелочных сточных вод приведена на рис. 4.31.

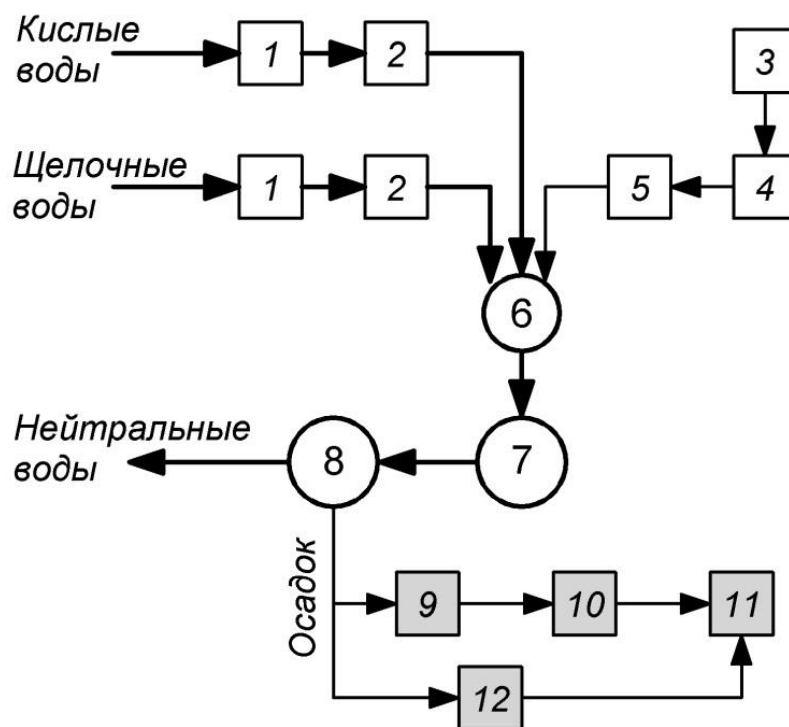


Рис. 4.31. Схема процесса взаимной нейтрализации с реагентным корректированием pH:
 1 — песколовки; 2 — усреднители; 3 — склад корректирующих реагентов; 4 — растворные баки; 5 — дозатор; 6 — смеситель; 7 — нейтрализатор; 8 — отстойник; 9 — осадкоуплотнитель; 10 — фильтр-пресс; 11 — накопитель обезвоженных осадков; 12 — шламовые площадки.

В состав основных сооружений входят резервуары-усреднители кислых и щелочных стоков, реагентное хозяйство, смеситель, резервуар-нейтрализатор, отстойник и блок обработки осадка.

Реагентная нейтрализация

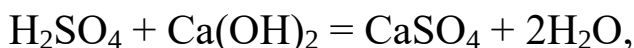
Реагентную нейтрализацию проводят тогда, когда смешение сточных вод не обеспечивает эквивалентное соотношение кислот и щелочей и вода остается кислой или щелочной.

В качестве реагентов используют доступные неорганические соединения. Для нейтрализации кислот применяют гидроксид натрия, известь, известняк, доломит, мрамор, мел, магнезит, соду, щелочные отходы производства. Чаще всего используют гидроксид кальция (гашеная известь). Для нейтрализации

щелочных сточных вод используют серную, соляную, азотную и другие кислоты.

При наличии на предприятии сточных вод одного вида применяют реагентный метод нейтрализации, особенно для кислых сточных вод. Для нейтрализации минеральных кислот чаще всего используют известь в виде пушонки или известкового молока и карбонаты кальция или магния в виде суспензии. Эти реагенты сравнительно дешевы и общедоступны, но усложняют реагентное хозяйство (необходимы усреднители, затруднено регулирование дозы реагента).

При нейтрализации стоков, содержащих серную кислоту, в зависимости от реагента происходят реакции:



Образующийся при нейтрализации сульфат кальция (гипс) при высокой концентрации (около 2 г/л) выпадает в осадок, это обуславливает необходимость устраивать отстойники-шламонакопители.

Гашеная известь, применяемая для нейтрализации, готовится в виде известкового молока 5 % концентрации по активному оксиду кальция (“мокрое” дозирование), но может использоваться и в виде сухого порошка (“сухое” дозирование). Для нейтрализации органических жирных кислот применяют известь, содержащую не менее 25-30 % активного оксида кальция, или смесь извести с 25 % технической аммиачной водой.

В качестве нейтрализующих добавок могут быть использованы отходы производства: карбидный шлак ацетиленовых станций, шлак от установок химводоочистки.

Реагенты добавляют в виде раствора или суспензии (способ мокрого дозирования) или в виде сухого порошка (способ сухого дозирования). Оба способа чаще всего применяют для нейтрализации серной кислоты. При пропускной способности установки до 4...5 т/сут нейтрализуемой кислоты

выгоднее использовать мокрое дозирование, при большей пропускной способности — сухое.

При мокром дозировании реагентом служит известковое молоко, которое готовят из обычной товарной извести, подвергнув ее дроблению и гашению в специальных аппаратах. Из этих аппаратов известковое молоко подается насосами в растворные баки, разводится до необходимой концентрации и через дозирочные баки направляется в смеситель, расположенный в канале, по которому движется очищаемая сточная вода.

Для организации эффективного процесса реагентной нейтрализации используют различные смесители. Для смешения сточных вод с реагентами применяют смесители трех типов: ершовые — при расходе сточных вод до 400 л/с, типа «лоток Паршаля» и с пневматическим или механическим перемешиванием — для больших расходов. Для смешения сточных вод различных видов, как правило, используют смесители с пневматическим или механическим перемешиванием.

Контакт реагента со сточной водой, необходимый для завершения реакции, осуществляется в специальных резервуарах-нейтрализаторах, рассчитанных на 10...15-минутное пребывание в них жидкости. Нейтрализатор может быть совмещен с отстойником.

Контактная нейтрализация

Контактная нейтрализация заключается в том, что сточную жидкость пропускают через слой материала, вступающего во взаимодействие с кислотами. В качестве загрузки применяют такие нейтрализующие материалы, как известь, известняк CaO , доломит $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$, магнезит MgCO_3 , обожженный магнезит MgO , мел CaCO_3 , мрамор и др. Крупность фракций материала загрузки обычно 30...80 мм. При прохождении жидкости через такой фильтр реакция нейтрализации должна полностью заканчиваться. Этот способ

имеет ряд преимуществ: он более прост и дешев, эффективен при неравномерной концентрации кислот в сточных водах.

Нейтрализацию соляно- и азотнокислых, а также сернокислых сточных вод при концентрации серной кислоты не более 1,5 г/л осуществляют на непрерывно действующих фильтрах (рис. 4.32.). Конструктивно фильтры выполняются с вертикальным движением нейтрализуемых кислых сточных вод.

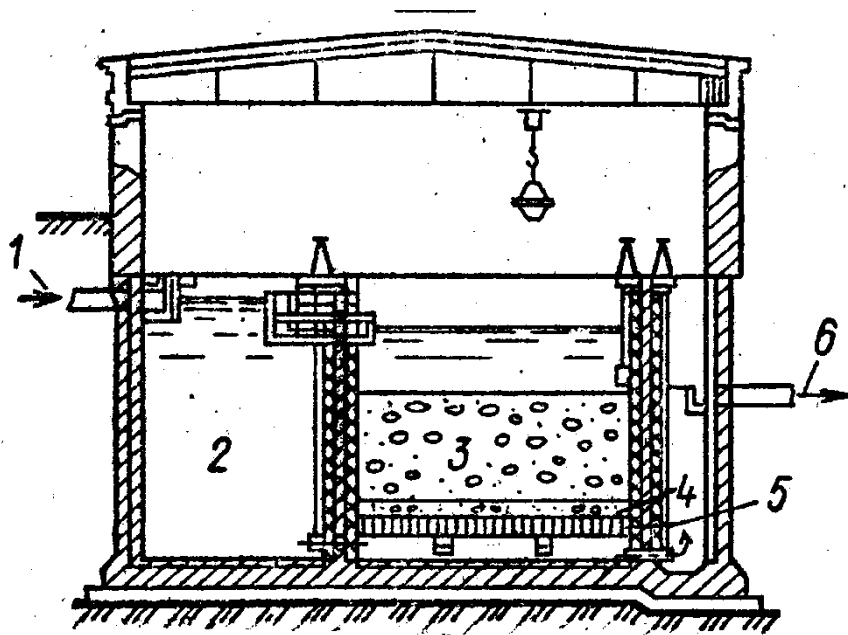
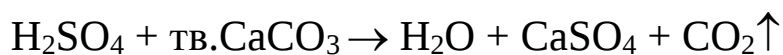


Рис. 4.32. Вертикальный доломитовый фильтр-нейтрализатор:

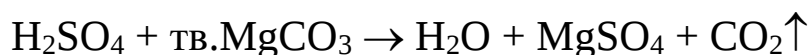
1 — подача кислых сточных вод; 2 — приемные камеры;
3 — доломитовые фильтры; 4 — гравий; 5 — дренаж; 6 — выпуск нейтрализованных сточных вод.

Применение таких фильтров возможно при условии отсутствия в кислых сточных водах растворенных солей металлов, поскольку при $pH > 7$, они будут выпадать в осадок в виде труднорастворимых соединений и забивать поры фильтра. Ограничивается применение нейтрализующих фильтров содержанием в сточных водах серной кислоты более 1,5 г/л. В этом случае количество образующегося сульфата кальция превышает его растворимость (~ 2 г/л) и он начинает выпадать в осадок.



Покрывая поверхность нейтрализующей загрузки, осадок затрудняет доступ к ней кислоты, в результате чего нейтрализация прекращается.

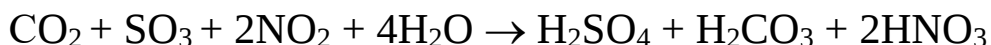
Если загрузка выполняется из карбоната магния, это ограничение снимается, поскольку растворимость сульфата магния достаточно высока.



При проектировании установок по нейтрализации кислых стоков все резервуары, трубопроводы, насосы, лотки и другую аппаратуру, соприкасающуюся с этой сточной водой, следует принимать из кислотоупорного материала или предусматривать надежную изоляцию.

Газовая нейтрализация

Газовая нейтрализация щелочных сточных вод применяется совместно с решением задач очистки выбросов в атмосферу дымовых газов – продуктов горения топлива. В состав дымовых газов, в зависимости от применяемого топлива, входят окислы неметаллов в различных соотношениях. При растворении в воде они образуют смесь кислот:



Для осуществления газовой нейтрализации применяются вертикальные контактные реакторы с затопленной или свободной насадкой (рис. 4.33.)

В реакторе организован противоточный режим движения сточных вод и дымовых газов. Щелочные сточные воды поступают в верхней части реактора на насадку и стекают вниз по ее поверхности. Дымовые газы движутся в поровом пространстве навстречу воде вверх. При этом в воде происходит растворение газообразных окислов и образование кислот. В результате взаимодействия их со щелочами сточных вод они нейтрализуются.

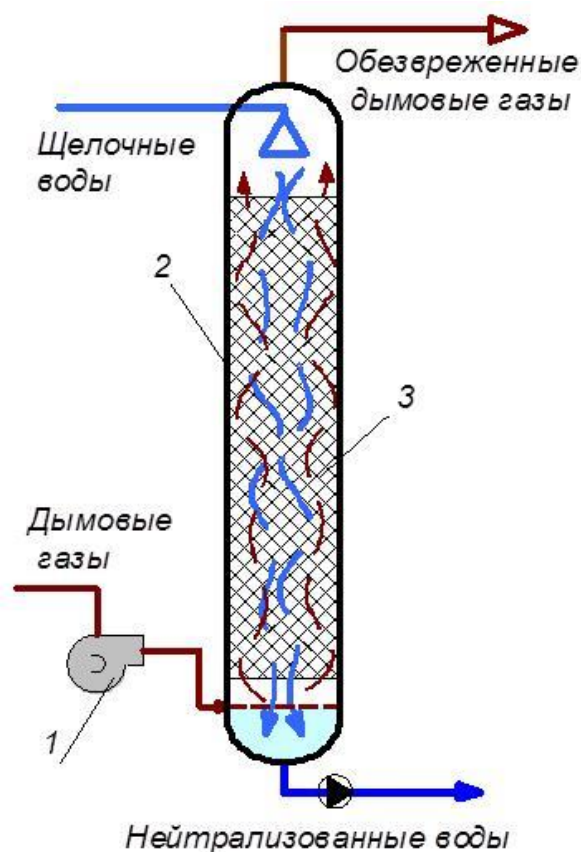
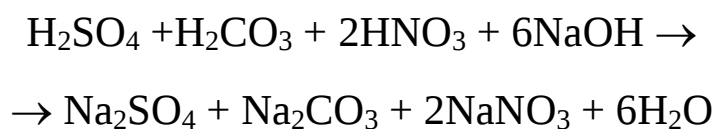


Рис. 4.33. Схема газовой нейтрализации в колонном реакторе с незатопленной загрузкой:

1 – дымосос; 2 - контактная колонна; 3 – насадка.

Одновременно происходит очистка дымовых газов от окислов и пылевидных частиц:



Недостаток метода газовой нейтрализации щелочных вод заключается в необходимости устройства дополнительного узла реагентной обработки ввиду сложности поддержания кислотно-щелочного баланса в системе.

Химическое окисление

Методы химического окисления относятся к деструктивным процессам очистки сточных вод. В основе процессов лежит химический механизм

взаимодействия загрязняющего вещества с реагентом-окислителем. Деструктирующий эффект действие окислителя обусловлен увеличением валентности соединений, вследствие утраты ими электронов и изменением первоначального химического состава загрязняющих веществ. В качестве реагентов-окислителей используют хлор, диоксид хлора, гипохлорит кальция и натрия, хлорную известь, кислород, озон, перекись водорода. Комплекс сооружений для очистки сточных вод окислением включает реагентное хозяйство, которое обеспечивает хранение, растворение и дозирование реагента-окислителя или установки для его получения на месте, камеры реакций и сооружений для отделения грубодисперсных веществ. Метод окисления используют в том случае, когда другими методами очистки, в том числе и биохимическими, не удастся разрушить или удалить вредные вещества, содержащиеся в производственных сточных водах.

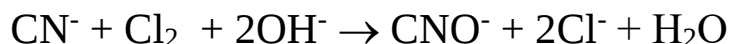
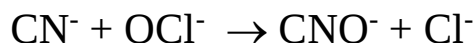
Окисление примесей воды хлором и хлорсодержащими соединениями

Деструкция загрязняющих веществ хлором и хлорсодержащими соединениями является широко распространенным методом. Его применяют для очистки сточных вод от сероводорода, гидросульфида, метилсернистых соединений, фенолов, цианидов и других органических и неорганических загрязняющих веществ.

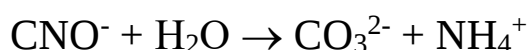
Для хлорирования сточных вод используется главным образом элементарный хлор. Кроме того, применяются следующие хлорсодержащие соединения: хлорная известь и другие сыпучие хлорсодержащие продукты, растворы гипохлорита натрия и кальция, двуокись хлора.

Товарная хлорная известь содержит около 30-35 % активного хлора, а гипохлорит кальция - 30-45 %. В воде Cl_2 , HOCl и OCl образуют свободный активный хлор, который является основным обеззараживающим веществом. Хлорная известь содержит: $\text{Ca}(\text{OCl})_2$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, H_2O в различных соотношениях.

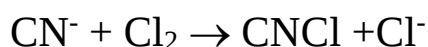
Окисление цианидов гипохлоритами или хлором производят только в щелочной среде ($\text{pH} \geq 10$):



Образующиеся цианаты легко гидролизуются в воде или окисляются до элементарного азота и диоксида углерода:



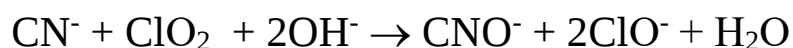
Окисление цианидов, а также сероводорода протекает быстро (1-3 мин.) и полно. Образующиеся цианаты постоянно гидролизуются. При понижении pH среды возможно протекание реакции прямого хлорирования цианида с образованием токсичного хлорциана:



Поэтому очень важно при окислении цианидов поддерживать щелочную среду.

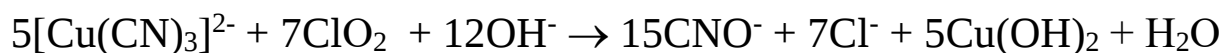
Хлор обладает бактерицидной реакцией, которая носит физиологический характер. Он вступает во взаимодействие с протеинами и аминокислотами, которые содержатся в оболочке бактерии и ее внутриклеточном веществе. Результатом таких взаимодействий является химическое изменение внутриклеточного вещества, распад структуры клетки и прекращение жизнедеятельности бактерий.

Высокой окислительной способностью обладает диоксид хлора ClO_2 . Водные растворы ClO_2 относительно устойчивы в течение длительного времени, при обработке сточных вод диоксидом не образуются токсичных продуктов прямого хлорирования (хлорциана, хлорфенола и др.) в любом диапазоне pH. Окисление цианидов диоксидом хлора протекает по уравнению:



Реакция наиболее интенсивно идет в щелочной среде при $\text{pH} \geq 10$. До тех пор, пока концентрация цианидов в растворе остается высокой, окисления до азота и диоксида углерода не происходит; цианаты начинают окисляться, когда остаточное содержание цианидов достигает 2,5-3 мг/л при дозе ClO_2 , близкой к теоретической.

Например, сточные воды, содержащие цианид меди обезвреживаются диоксидом хлора в щелочной среде с получением, утилизируемого осадка гидроксида меди:



В зависимости от агрегатного состояния вводимых в воду хлора или хлорсодержащих реагентов определяется технология обработки сточных вод. Если эту воду обрабатывают газообразным хлором или диоксидом хлора, то процесс окисления осуществляется в абсорберах. При использовании хлора или диоксида хлора в виде раствора, его подают в смеситель и далее в контактный резервуар, где обеспечиваются эффективное его смешивание и требуемая продолжительность контакта со сточной водой. Хлораторные установки включают складское хозяйство и устройства для дозирования хлора.

Окисление примесей воды кислородом воздуха

Сточные воды с высоким содержанием сульфидов характерны для целлюлозных, нефтеперерабатывающих и нефтехимических, кожевенных заводов. Для их очистки применяют кислород, содержащийся в воздухе. С повышением температуры и давления скорость реакции и глубина окисления сульфидов и гидросульфидов увеличивается. Схема окисления сульфидов кислородом воздуха приведена на рис. 4.34.

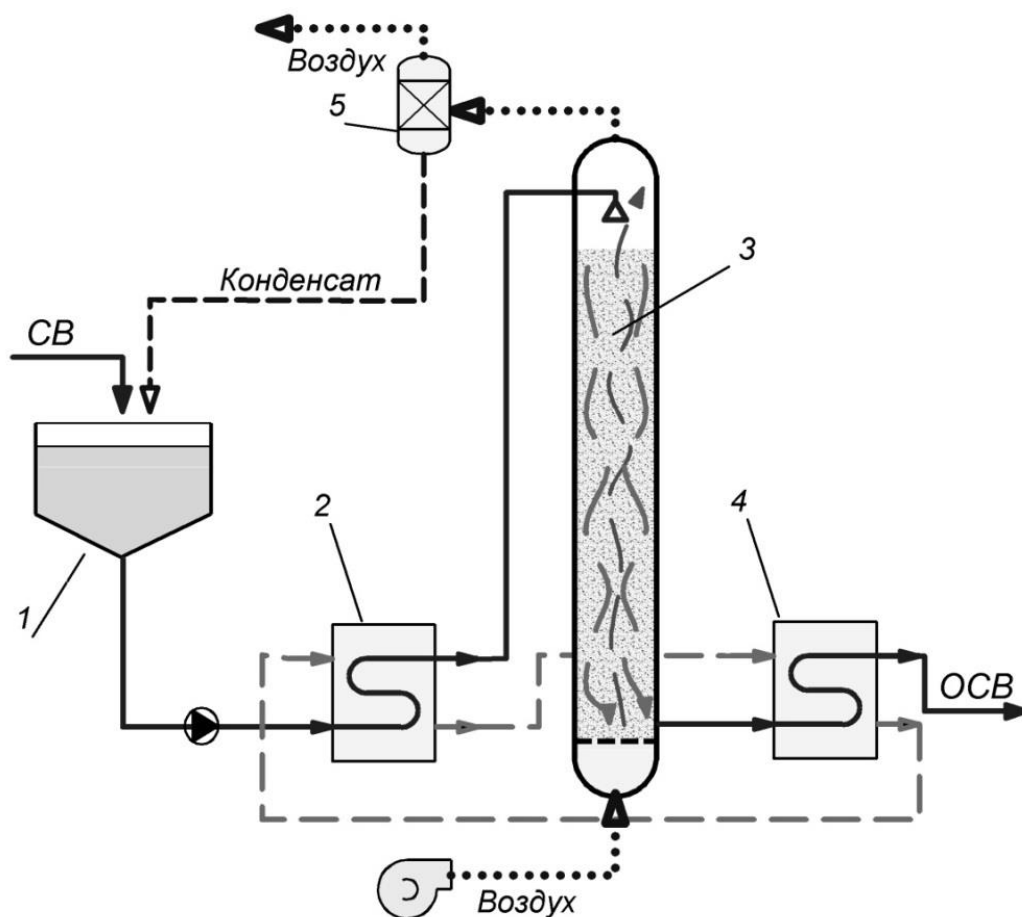


Рис. 4.34. Схема установки окисления сульфидов воздухом:

1 — приемный резервуар; 2 — теплообменник нагрева; 3 — барботажная окислительная колонна; 4 — теплообменник охлаждения; 5 — конденсатор.

Для предотвращения выделения сероводорода с парами воды отработавший воздух из установки направляется в конденсатор, где происходит конденсация пара и возможных остатков сероводорода.

Окисление примесей воды озонированием

Применение озона в качестве реагента-окислителя позволяет одновременно обеспечить обесцвечивание воды, дезодорацию, обеззараживание и другие задачи очистки сточных вод предприятий.

Метод озонирования применяют для очистки сточных вод от фенолов, нефтепродуктов, сероводорода, соединений мышьяка, ПАВ, цианидов, красителей, канцерогенных и ароматических углеводородов, пестицидов и

неорганических веществ. Перспективной является обработка сточных вод озонированием, позволяющая осуществить глубокую очистку и использовать воды повторно в производстве.

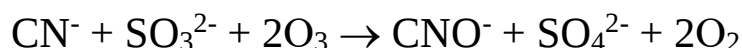
Озон O_3 является универсальным реагентом, поскольку может быть использован для обеззараживания, обесцвечивания, дезодорации воды, для удаления железа и марганца. Озон разрушает соединения, не поддающиеся воздействию хлора (фенол), не придает воде запаха и привкуса. Но при этом обладает сильными коррозионными свойствами и кратковременным действием. Поэтому все элементы озонаторных установок и трубопроводы, контактирующие с озоном или его водными растворами, должны изготавливаться из нержавеющей стали и алюминия, а после обеззараживания озоном воду хлорируют для образования в воде требуемого остаточного хлора.

В процессе обработки сточной воды озон, подаваемый в реактор в виде озонозовоздушной смеси, диспергированной на мельчайшие пузырьки, растворяется в воде и вступает в химические реакции с загрязняющими веществами. Растворимость озона в воде зависит от величины рН и содержания в воде растворенных веществ. Небольшое содержание кислот и нейтральных солей увеличивает растворимость озона. Присутствие щелочей снижает его растворимость. Озон обладает очень высокой окисляющей способностью. Это позволяет использовать его во многих химических реакциях очистки производственных сточных вод.

Озон подают в сточную воду в виде озонозовоздушной или озон-кислородной смеси. Концентрация озона в смеси около 3 %. Для усиления процесса окисления смесь диспергируют в сточной воде на мельчайшие пузырьки газа. Озонирование представляет собой процесс абсорбции, сопровождаемой химической реакцией в жидкой фазе. Например, в процессах очистки сточных вод от роданидов, аммиака и цианидов:

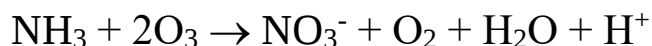
Роданид-ионы:

$$\text{pH} \leq 7$$



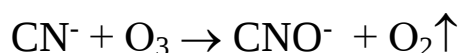
Аммиак:

$$\text{pH} > 7$$

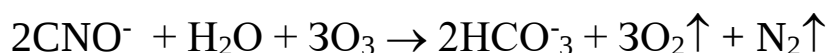


Цианиды:

$$\text{pH} \geq 7$$



.....



Озонирование воды - достаточно сложный процесс, требующий объединения в одной установке устройств для компрессирования и кондиционирования воздуха, получения озона, смешения его с водой, рекуперации или разложения непрореагировавшего озона. Принципиальная технологическая схема озонирования состоит из двух основных узлов: получения озона и очистки сточных вод. Атмосферный воздух подают на фильтр, где он очищается от пыли, после чего воздуходувками направляется на охлаждающее устройство для отделения капельной влаги, а затем осушается на адсорбционных установках. Осушка воздуха является одним из основных этапов его подготовки перед получением озона и осуществляется в две ступени. На первой происходит предварительное охлаждение воздуха до 7-8 оС в холодильной установке рассолом, подаваемым от фреоновой холодильной установки. На второй воздух сушат в адсорберах с алюмо-гелиевой или силикагельной насадкой. Осушенный воздух подвергается тонкой очистке от пыли, а затем направляется в озонатор.

В основе промышленного получения озона лежит реакция расщепления молекулы кислорода на атомы под действием тихого (коронного)

электрического разряда с последующим присоединением к молекуле одного атома кислорода.

На практике озон получают в специальных аппаратах - озонаторах, в которых воздух с определенной скоростью пропускается между электродами, соединенными с источником переменного тока высокого напряжения (5-25 кВ). Конструктивно электроды выполняются в виде двух концентрично расположенных цилиндров разного диаметра или в виде двух параллельных пластин.

В обрабатываемую воду озон вводят различными способами: барботированием воздушно-озоновой смеси в слое воды через фильтросные пластины или пористые трубки; смешением воды с озоновоздушной смесью в эжекторах или механических роторных смесителях, в абсорберах различных конструкций. Время контакта 5-20 мин. Эффективность озонирования зависит от количества и свойств загрязняющих воду веществ, температуры и pH среды, от дозы озона и метода его диспергирования. При водоподготовке доза озона составляет 0,75-3 мг/л, при доочистке сточных вод - 2-4 мг на 1 мг загрязнителя (нефтепродуктов, фенолов, ПАВ).

Установка по озонированию воды включает блок подготовки воздуха, генератор озона и контактные камеры. Поскольку для озона очень низкое значение ПДК в воздухе, он не может быть выпущен в атмосферу непосредственно из контактной камеры. С другой стороны, озон обладает относительно низкой растворимостью в воде, что обуславливает необходимость увеличения продолжительности пребывания озона в реакторе. Это отражается в особенностях конструкций сооружений (рис. 4.35).

Двухсекционная барботажная контактная камера наиболее распространена и применяется как для обеззараживания сточных вод, так и для их глубокой очистки. Озоновоздушная смесь распыляется фильтросными элементами, которые изготавливаются в виде плоских пластин, труб и разных типов диффузоров, из пористых материалов на основе керамики, металлокерамики и

пластмасс. Обычно применяют материалы с размером пор от 50 до 100 мкм, так как более мелкие обладают значительным динамическим сопротивлением и быстро забиваются, а более крупные не обеспечивают достаточную дисперсность газовой фазы. Движение обрабатываемой сточной воды и озонозоной смеси в контактной камере по встречным направлениям обеспечивает большую эффективность озонирования. Барботажные контактные камеры могут быть одно- и многоступенчатыми.

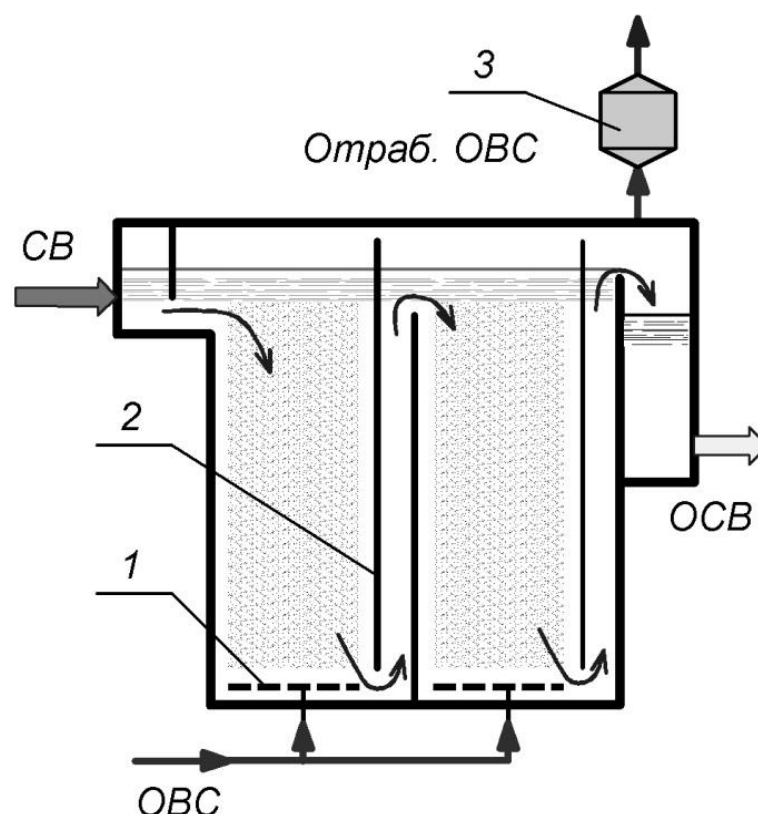


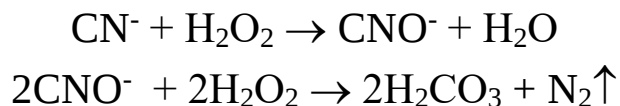
Рис. 4.35. Схема двухсекционной контактной камеры для окисления загрязняющих веществ озонотом:

1 — распределительная система для диспергирования озона в воду; 2 — вертикальный межсекционный канал; 3 — каталитический деструктор непрореагировавшего озона.

Такая конструкция обеспечивает двукратный контакт озона с водой и предотвращение выхода озона в атмосферу, в том числе через поводящий и отводящий каналы.

Окисление примесей воды пероксидом водорода

Пероксид водорода используется для окисления нитритов, альдегидов, фенолов, серосодержащих отходов, активных красителей, цианидов:



Пероксид водорода в кислой и щелочной средах разлагается с образованием кислорода.

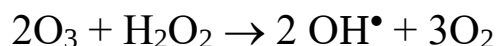
В разбавленных растворах процесс окисления органических веществ протекает медленно, поэтому используют катализаторы – ионы металлов переменной валентности (Fe^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , Cr^{3+} , Ag^+).

В процессах водообработки используют также восстановительные свойства пероксида водорода. В нейтральной и слабощелочной средах он легко взаимодействует с хлором и гипохлоритами, переводя их в хлориды. Эти реакции используют при дехлорировании воды.

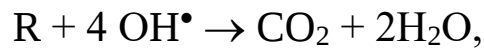
Окисление загрязняющих веществ активными ОН-радикалами

Современная технология деструкции загрязняющих веществ сточных вод развивается в направлении использования процессов в наименьшей степени оказывающих отрицательное влияние на окружающую среду. К таким процессам относится использование в качестве деструкторов активных ОН-радикалов. Это новое технологическое направление получило название АОР (Advanced Oxidation Processes).

Один из способов реализации технологии АОР состоит в совместном использовании озона и пероксида водорода:



Образующиеся в этой реакции ОН-радикалы способны при определенных условиях полностью минерализовать органические загрязняющие вещества:



где R – углеродсодержащие органическое вещество.

Схема установки для очистки воды с использованием технологии *AOP* приведена на рис. 4.36.

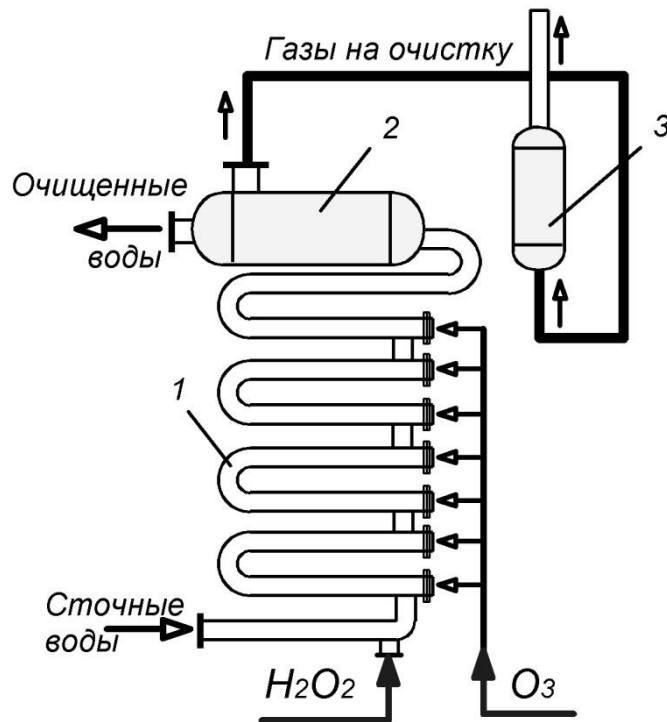


Рис. 4.36. Схема установки для очистки сточных вод с использованием технологии *AOP*:

1 – петлевой смеситель; 2 – газоотделитель; 3 – деструктор непрореагировавшего озона.

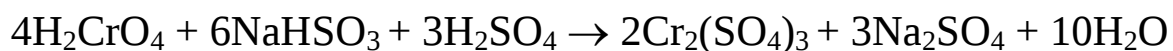
Пероксид водорода подается в начало петлевого смесителя, где смешивается с поступающими сточными водами. Озоновоздушная смесь вводится в каждую секцию смесителя по направлению движения обрабатываемой воды. Процесс минерализации загрязняющих веществ начинается в смесителе и завершается в емкости газоотделителя. Нерастворившиеся остатки озоновоздушной смеси и газообразные продукты деструкции загрязняющих веществ отделяются от воды и направляются на обезвреживание в деструктор озона и далее на очистку перед выбросом в атмосферу.

Достоинства технологии *AOP* состоят в широком диапазоне возможных направлений использования, отсутствии вредных отходов, возможности полной

автоматизация и дистанционного управление процессами. К недостаткам технологии *АОР* относится неселективный характер окисления.

Химическое восстановление

Методы химического восстановления загрязняющих веществ применяют, когда вещество, находящееся в сточных водах, не может быть извлечено в достаточной мере другими методами. К таким веществам относятся соли шестивалентного хрома, соединения ртути, мышьяка и другие. В отличие от многих других тяжелых металлов, гидраты этих веществ имеют высокую растворимость. Поэтому после отделения гидратных осадков в воде остается концентрация, многократно превышающая ПДК. Так, большинство солей Cr^{6+} растворимо в воде, в тоже время растворимость гидроксида Cr^{3+} весьма мала. Достаточно полное (ниже ПДК) извлечение хроматов возможно при восстановлении Cr^{6+} в Cr^{3+} . В качестве восстановителей могут быть использованы сульфат железа, гидросульфит натрия, диоксид серы, водород и другие вещества, окисляемые трехвалентным хромом:



Осаждение трехвалентного хрома проходит при значениях pH 8,5...9,5 для чего применяют щелочные реагенты $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH и другие:

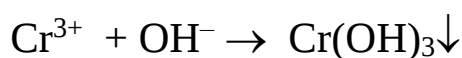


Схема процесса реагентного восстановления и осаждения хроматов приведена на рис. 4.37.

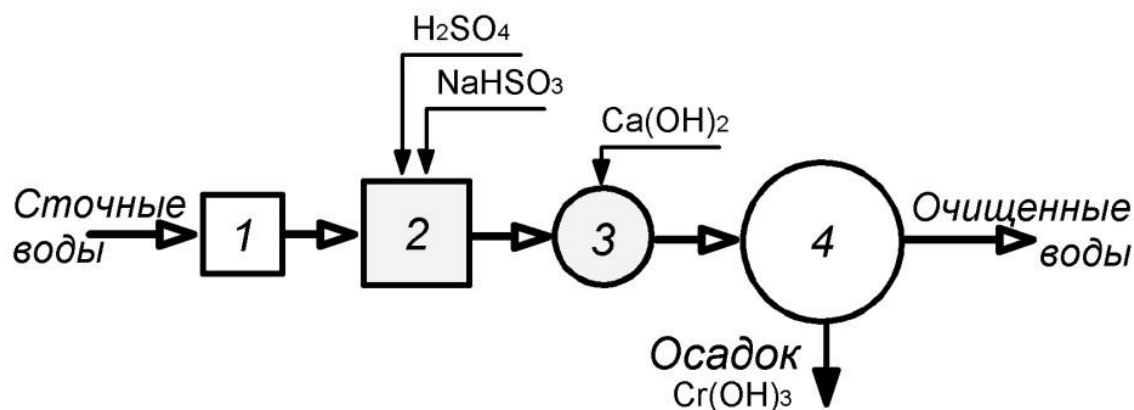


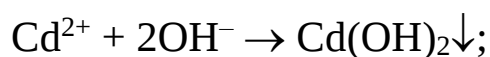
Рис. 4.37. Схема процесса очистки сточных вод от соединений трехвалентного хрома:

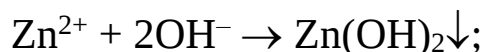
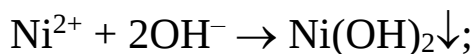
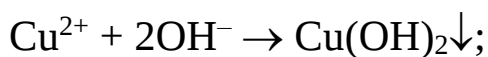
1 – усреднитель; 2 – смеситель-восстановитель; 3 – смеситель-нейтрализатор; 4 – гравитационный разделитель.

Метод химического восстановления может быть применен в системах очистки сточных вод сложного состава для селективного извлечения утилизируемых веществ. Так, кислотные сточные воды, содержащие цинк, никель, кадмий и шестивалентный хром, могут быть очищены от тяжелых металлов высаживанием при повышении значения pH. При этом хроматы (VI+) останутся в растворе. Далее утилизация соединений хрома проводится в соответствии с приведенными выше реакциями.

Химическое осаждение (высаживание)

Метод химического высаживания основан на взаимодействии загрязняющих веществ с реагентами, переводящими их в малорастворимые формы. В ряде случаев достаточно изменение величины pH до значения осаждения. Этот метод получил широкое распространение в процессах очистки сточных вод гальванических производств от тяжелых металлов. При нейтрализации сточных вод до значений осаждения, приведенных в таблице 4.4, образуются соответствующие малорастворимые гидроксиды металлов:





Регулированием величины рН осаждения можно осуществлять селективное осаждение металлов.

Таблица 4.4

Интервалы значений рН для высаживания ионов тяжелых металлов в форме гидроксидов

Ион металла	Величина рН	
	Начало осаждения	Полное осаждение
Кадмий Cd^{2+}	8,2	9,7
Медь Cu^{2+}	5,3	7,1
Никель Ni^{2+}	7,7	9,5
Цинк Zn^{2+}	6,4	8,0

Для нейтрализации сточных вод и корректирования величины рН применяют известь, соду и натриевую щелочь. Ориентировочно расход щелочных реагентов можно оценить по данным, приведенным в таблице 4.5.

Таблица 4.5

Расход щелочных реагентов для высаживания ионов тяжелых металлов

Ион металла	Удельный расход реагентов, г/г			
	CaO	Ca(OH) ₂	Na ₂ CO ₃	NaOH
Свинец Pb^{2+}	0.27	0.36	0.51	0.38
Медь Cu^{2+}	0.88	1.16	1.66	1.26
Никель Ni^{2+}	0.95	1.26	1.8	1.36
Цинк Zn^{2+}	0.85	1.13	1.6	1.22

Схема очистки сточных вод высаживанием в форме гидроксидов металлов приведена на рис. 4.38.

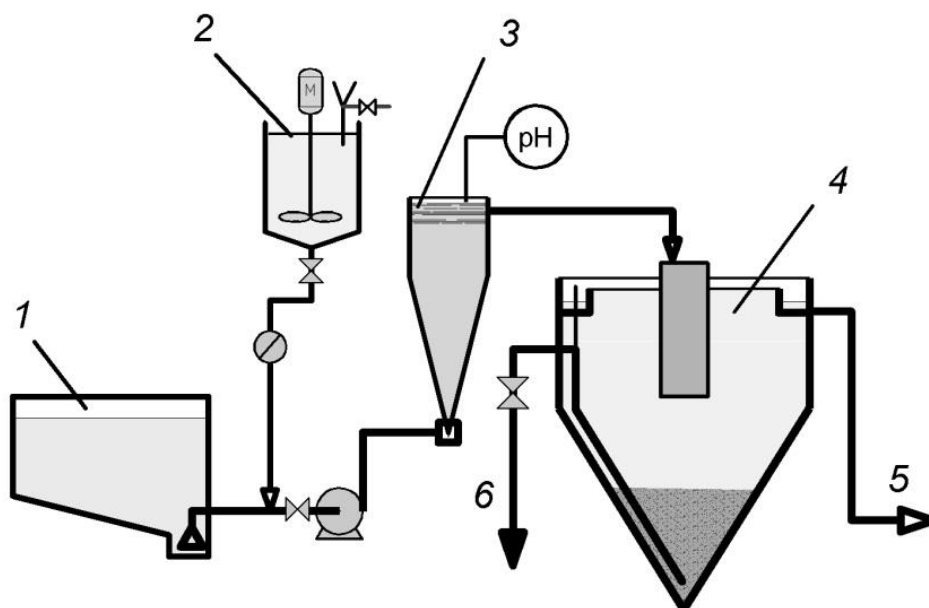


Рис. 4.38. Схема установки для очистки сточных вод от тяжелых металлов методом высаживания:

1 – усреднитель сточных вод; 2 – приготовление и дозирование известкового молока; 3 – смеситель-реактор; 4 – отстойник; 5 – очищенные воды; 6 – выпуск осадка.

Наряду с известью, в технологиях высаживания тяжелых металлов применяют соли, содержащие карбонаты и сульфиды, а также их сочетания. Для ускорения процесса отделения осадка используют анионные полиэлектролиты в качестве флокулянтов.

Принципы расчета оборудования для химической очистки сточных вод

Расчет сооружений и оборудования для осуществления химических процессов очистки сточных вод включает несколько этапов. В их числе:

- определение потребности в реагентах, расчет и подбор оборудования для их хранения, приготовления и дозирования;
- расчет сооружений и оборудования для осуществления химических реакций;
- расчет и подбор оборудования, обеспечивающего безопасное ведение технологического процесса очистки сточных вод.

Выбор реагентов для химической очистки сточных вод определяется технологическими и экономическими особенностями, а также логистическими условиями. При этом необходимо учитывать свойства продуктов химических реакций и возможность образования осадков. Кроме использования традиционных реагентов полезно рассмотреть возможность получения их на месте или использования отходов местной промышленности, если это не приводит к загрязнению сточных вод более токсичными веществами.

Принцип расчета оборудования для проведения химических реакций в процессе очистки сточных вод состоит в определении вместимости и габаритных размеров основных реакторов и вспомогательного оборудования. Расчет вместимости реактора основывается на продолжительности пребывания сплошной фазы (воды) в активной зоне контакта реагирующих фаз. Продолжительность нахождения сплошной фазы в активной зоне определяется по скорости химической реакции или устанавливается эмпирически.

Потребность в реагентах определяют по «прореагировавшей» части загрязняющих веществ или по содержанию их в поступающих сточных водах в зависимости от метода химической очистки. При использовании химических реагентов для проведения реакций по эквивалентным соотношениям, например, реакции высаживания, расчет ведут по выражению:

$$G_p = D_э Q_w (C_{en} - C_{ex}) \quad (4.2)$$

где G_p – расход реагента по активной части, кг/ч; $D_э$ – эквивалентная доза реагента, кг/м³; Q_w – расход сточных вод, м³/ч; C_{en} , C_{ex} – концентрация загрязняющего вещества в поступающей и очищенной воде, соответственно, кг/м³.

Применение химических методов очистки сточных вод от групп загрязняющих веществ, включая деструктирующие воздействия, расход реагентов определяют по удельной дозе и массовой скорости лимитирующих показателей, например, ХПК, в поступающей воде:

$$G_p = D_p Q_w P_{en}, \quad (4.3)$$

где G_p – расход реагента по активной части, кг/ч; D_p – удельная доза реагента, кг/кг; Q_w – расход сточных вод, м³/ч; P_{en} – лимитирующий показатель загрязняющего вещества в поступающей воде, кг/м³.

Вместимость химических реакторов определяется необходимой продолжительностью пребывания (контакта) реакционной смеси до получения заданной величины лимитирующего показателя. Для большинства химических процессов очистки воды необходимая продолжительность контакта зависит от скорости химической реакции и гидродинамической структуры потока в реакторе. Например, для реакции описываемой уравнением кинетики нулевого порядка, вместимость зоны реакции в режиме идеального вытеснения составит:

$$W_B = \frac{1}{k} Q_w (C_{en} - C_{ex}) / C_{en}, \quad (4.4)$$

где W_B – вместимость зоны реакции в режиме идеального вытеснения, м³;
 k – константа скорости химической реакции, час⁻¹.

Вместимость реактора для этой же химической реакции, но в режиме идеального смешения потребуется больше:

$$W_c = \frac{2}{k} Q_w (C_{en} - C_{ex}) / C_{en}, \quad (4.5)$$

где W_c – вместимость зоны реакции в режиме идеального смешения, м³.

Кроме этого необходимо учитывать, что в реакторах идеального смешения величина лимитирующих показателей в очищенной воде всегда будет больше, чем в вытеснителях в результате «подмешивания» неочищенной воды.

Проведение химических реакций может быть связано с выделениями в атмосферу газообразных, летучих и пылевидных веществ как применяемых реагентов, так и продуктов взаимодействия с загрязняющими веществами. Это обуславливает необходимость решения задач по обеспечению безопасной работы персонала и сохранности оборудования для конкретных условий применения химических технологий. А также решение задач пожаро- и взрывобезопасности, вентиляции и стойкости ограждающих строительных конструкций.

4.1.4. Физико-химическая очистка сточных вод.

Физико-химические процессы в технологии очистки сточных вод

Работы отечественных ученых А.В.Думанского, П.А.Ребиндера, Б.В.Дерягина, А.Н.Фрумкина, В.А.Каргина, В.Г.Левича стали основой современных положений физико-химических процессов очистки воды. Примечательно, что большая часть фундаментальных научных направлений непосредственно связаны с водой как веществом или средой взаимодействия других веществ. Благодаря развитому теоретическому аппарату физической химии были созданы основы, опытные образцы и методики проектирования разных видов очистного оборудования. Практическое воплощение в технологии очистки воды физико-химические методы получили благодаря трудам Ю.И.Вейцера, Л.А.Кульского, Б.Н.Ласкорина, Н.А.Лукиных и многих других.

В настоящее время физико-химические технологии широко распространены в области очистки природных и сточных вод. На физико-химических процессах основан целый ряд разделительных и деструктивных методов очистки воды (рис. 4.39). Оказывая комплекс воздействий на все формы загрязняющих веществ, они обладают важными достоинствами при решении многих задач обеспечения охраны водных ресурсов.



Рис. 4.39. Физико-химические процессы, применяемые для очистки сточных вод.

Физико-химические процессы и основанные на них технологии очистки сточных вод, в наибольшей мере соответствуют особенностям систем водоотведения предприятий. Это обусловлено рядом достоинств этих технологий, в числе которых:

- достаточный выбор процессов, оказывающих воздействие на многие виды загрязняющих веществ, различающихся как по химическому составу, так и по фазово-дисперсному, обеспечивает принципиальную возможность их применения для очистки сточных вод до требуемых значений лимитирующих показателей;
- возможность эффективной работы, как при постоянном, так и периодическом режиме эксплуатации за счет малого периода вывода системы на номинальные параметры в соответствии с регламентом процесса;
- технологическая гибкость системы очистки воды при изменении показателей поступающей воды или изменении требований к качеству ее очистки;
- возможность полной автоматизации и диспетчеризации технологического процесса очистки воды и ряд других.

Современные технологические процессы очистки производственных сточных вод включают различные комбинации механической, биологической, химической и других технологий с физико-химическими технологиями.

Важной особенностью физико-химических методов очистки сточных вод, является возможность формирования технологических процессов селективной очистки сточных вод, направленных на достижение заданных показателей воды при одновременной утилизации технологических материалов.

Очистка сточных вод реагентным коагулированием

Широкое применение процесса коагулирования в технике очистки производственных сточных вод обусловлено сложностью фазово-дисперсного состава загрязнений с одной стороны, и многофакторностью воздействия на систему загрязнений с другой.

Этим способом очищают сточные воды, содержащие очень мелкие взвешенные вещества, например, воды текстильных предприятий (красильные и отбельные отделения), вязкозных фабрик и т. п., воды нефтеперерабатывающих заводов, содержащие эмульгированные продукты, банно-прачечные и душевые сточные воды, а также сточные воды заводов химической промышленности. Процесс коагулирования сточных вод неорганическими реагентами включает химические стадии - растворение и гидролиз коагулянтов и стадии физико-химических взаимодействий.

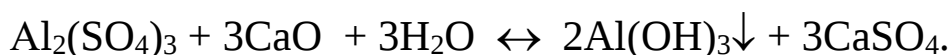
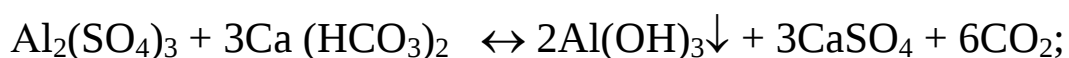
В результате гидролиза солей коагулянтов образуются малорастворимые гидроксиды металлов, которые формируют в воде дисперсную систему с противоположным зарядом. Это способствует сближению дисперсных частиц загрязнений и коагулянта. Внедрение в диффузный слой коллоидных загрязнений противоионов вызывает его нейтрализацию и приводит к снижению величины ζ - потенциала. В результате коагуляции дисперсная система сточных вод утрачивает седиментационную устойчивость и становится доступной для эффективного применения разделительных процессов. Поэтому коагуляция не является методом очистки воды, а лишь подготовительной ступенью.

Наряду с явлениями собственно коагуляции, образующиеся флокулы гидроксидов металлов, обладая развитой поверхностью, сорбируют многие дисперсные загрязнения сточных вод. При этом могут извлекаться вещества непосредственно не участвовавшие в текущем процессе коагуляции. Кроме этого, к образованию дисперсной фазы могут приводить реакции взаимодействия кислотных остатков и других анионов, образующихся на стадии гидролиза солей. Таким образом, процесс очистки сточных вод основанный на использовании коагулянтов необходимо рассматривать как многостадийный и многофакторный.

Коагулирование солями алюминия и железа

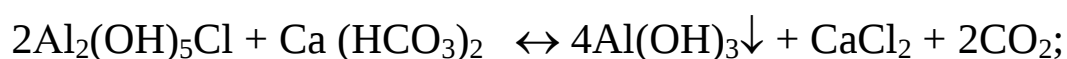
В практике очистки производственных сточных вод в качестве реагентов для коагулирования (коагулянтов) часто используют сульфат алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$; алюминат натрия NaAlO_2 ; оксохлорид алюминия $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}$, реже - тетраоксосульфаты алюминия-калия $[\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}]$ и алюминия-аммония $[\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}]$. Кроме коагулянтов применяют отходы неорганических производств, содержащие аналогичные соединения.

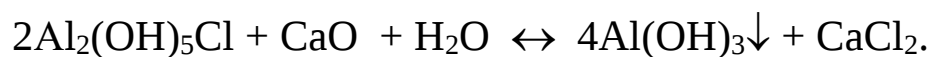
Широкое распространение получил сульфат алюминия. При коагулировании сульфат алюминия взаимодействует с гидрокарбонатами и щелочами, имеющимися в воде или добавленными специально, образуя малорастворимое основание. Суммарные реакции процесса представлены уравнениями:



Наибольшая эффективность применения сульфата алюминия находится в интервале значений $\text{pH} = 5,0 \dots 7,5$.

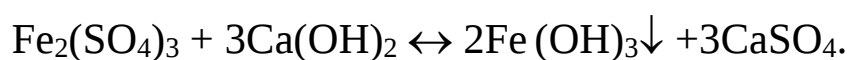
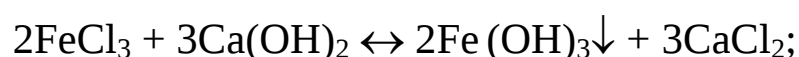
В последнее время для коагулирования природных и сточных вод применяют гидроксохлорид алюминия:





Основные преимущества гидроксохлорида алюминия видны при сопоставлении стехиометрии суммарных уравнений. Так, для получения одинакового количества гидроксида алюминия требуется в 6 раз меньше щелочных реагентов, при этом почти в 4 раза снижается дополнительная минерализация воды.

Железосодержащие коагулянты это, прежде всего сульфаты двух- и трехвалентного железа: $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}(\text{SO})_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ и $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, а также хлорное железо FeCl_3 . Интервалы величины pH для железосодержащих коагулянтов смещены к щелочным значениям: для соединений Fe^{3+} pH = 6,0...9,0; для соединений Fe^{2+} pH $\geq$ 9,5. Для подщелачивания используют гидроксиды натрия и кальция:



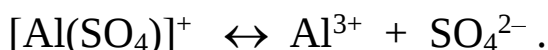
Поскольку железо обладает переходной валентностью, перечисленные реагенты могут применяться не только для коагулирования, но и для проведения реакций окисления-восстановления с последующим отделением дисперсной фазы.

Характерная особенность всех приведенных реакций для распространенных неорганических коагулянтов состоит в образовании гидроксидных зелей и увеличении содержания электролитов в обрабатываемой воде.

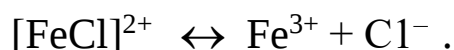
Полный процесс коагулирования сточных вод неорганическими коагулянтами включает химические и физико-химические стадии, а также последующее отделение сформированной дисперсной фазы. Поэтому общая эффективность применения методов очистки воды коагулированием обеспечивается мерой оптимальности всех составляющих процесса.

К химическим стадиям относятся диссоциация коагулянтов с образованием ионов и ионных комплексов, гидролиз и взаимодействие продуктов гидролиза с загрязняющими веществами.

Растворение коагулянтов в воде описывается реакциями диссоциации вещества. Ионизация кристаллической решетки соли на границе с раствором условно можно разделить на стадии, которые характеризуют равновесные состояния лигандов и ионов. Например, растворение сернокислого алюминия сопровождается последовательным отделением сульфат-ионов в следующей последовательности:

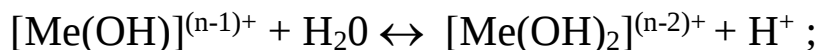


Растворение хлорида железа может быть представлено как последовательное отщепление хлоридов:



Формирующиеся при диссоциации солей коагулянтов лиганды и ионы металлов, вступая во взаимодействие с водой, обуславливают начало процесса гидролиза.

Общая схема гидролиза коагулянта может быть представлена последовательными стадиями:



.....

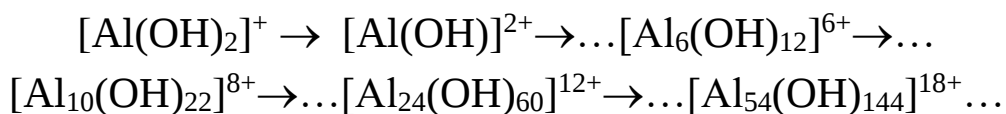


При гидролизе комплексных соединений и гидратированных ионов, продукты реакций могут включать сложные полиядерные структуры. Принципиальный вид реакций гидролиза, в результате которых образуются полиядерные комплексы, представлены уравнением:



Чем глубже гидролиз диссоциированных соединения коагулянта, тем больше образование в воде полиядерных оксогидратных комплексов. Принято считать, что величина заряда катиона металла обуславливает определенные структуры полиядерных комплексов. Так для иона металла Me^{2+} характерна одноядерная структура $[\text{Me}_2(\text{OH})]^{3+}$, для иона Me^{3+} конформна двуядерная структуры $[\text{Me}_2(\text{OH})_2]^{4+}$ и т.д. Например, для катиона Fe^{3+} продуктами гидролиза могут быть $[\text{Fe}(\text{OH})_2]^+$, $[\text{Fe}(\text{OH})]^{2+}$ и $[\text{Fe}_2(\text{OH})_2]^{4+}$.

Большое значение в процессе гидролиза коагулянта имеет щелочность и активная реакция среды. Постепенное повышение pH приводит к формированию полиядерных комплексов с большими величинами зарядов, что видно на примере полимеризации гидроксокомплексов алюминия:



Образующиеся в процессе гидролиза коагулянтов гидроксокомплексы металлов в насыщенном состоянии обладают малой растворимостью в воде. Произведение концентраций ионов в насыщенном водном растворе труднорастворимого соединения, называемое произведением растворимости (ПР), является его характеристикой и при постоянных значениях давления и

температуры есть величина постоянная. В общем случае для диссоциирующего в воде соединения вида $[Me_xA_y]$ величина ПР выражается уравнением:

$$ПР[Me_xA_y] = [Me^+]^x [A^-]^y .$$

По величине ПР можно теоретически определить остаточное содержание в воде ионов малорастворимого соединения и необходимые затраты реагентов.

Физико-химические стадии обуславливают образование золя гидроксидов, адсорбцию коллоидных примесей и других примесей на поверхности частиц золя гидроксида, электролитную коагуляцию золя гидроксида и флокуляцию (хлопьеобразование). Процесс гидролиза коагулянта и диссоциации его продуктов в сточных водах очень сложный, поэтому приведенные уравнения дают общие представления о закономерностях и направлении химических стадий коагулирования.

Эффективность извлечения загрязняющих веществ в процессе коагулирования непосредственно зависит от дозы коагулянта. Однако простая стехиометрическая связь при этом отсутствует.

Коагулирование с использованием смеси минеральных соединений

Одно из направлений интенсификации процесса коагулирования сточных вод - подбор оптимальных соотношений смеси катионов металлов. При этом были получены хорошие результаты при использовании растворимых солей, содержащих ионы железа, алюминия, кальция и анионы хлора, нитрата или ацетата. Такие смеси электролитов позволяют очищать сточную воду от органических загрязняющих веществ и механических примесей независимо от значений pH. Установлена возможность использования гидратов окислов Ni, Cu, Mn, Cd, Al, Cr для очистки сточных вод, содержащих красители различного строения, ПАВ и нефтепродукты. Показано, что эффект очистки в данном случае приближается к сорбции активными углями. Процессы

коагулирования и осаждения протекают быстрее, чем в случае применения только одного электролита. В то же время отмечено, что методы эффективны для очистки умеренно загрязненных сточных вод.

Наряду с использованием металлосодержащих солей, за рубежом получил распространение способ очистки сточных вод предприятий текстильного профиля путем подкисления сточной жидкости фосфорной кислотой с последующей нейтрализацией известью до $\text{pH} = 6,5 \dots 8,5$.

Для уменьшения дозы осадкообразующих реагентов совместно с минеральными коагулянтами иногда применяют окислители - перекись водорода, газообразный хлор, гипохлорит натрия, реактив Фентона.

К существенным недостаткам процессов со сложным составом коагулирующих смесей следует отнести наличие их в достаточном количестве на очистных сооружениях (как правило, это отходы химических производств) и сложность решения экологических проблем, связанных с образующимися осадками.

При современных требованиях к очищенной воде, результаты, получаемые традиционным коагулированием, не позволяют эффективно решать природоохранные задачи. Это послужило основанием для разработки более совершенных технологий проведения процесса коагулирования сточных вод сложного фазово-дисперсного состава. Одним из перспективных направлений является использование наряду с минеральными, также органических полиэлектролитов.

Коагулирование с использованием органических полиэлектролитов

Перспективным направлением интенсификации процесса коагулирования является совместное применение реагентов минерального и органического строения, прежде всего полиэлектролитов.

Большинство синтетических флокулянтов созданы на основе полиакриламида и его производных. Собственно полиакриламид электронейтрален. Разные

ионные типы получают в результате его сополимеризации с другими мономерами. Наиболее распространены следующие анионные группы: $-\text{COOH}$; $-\text{SO}_3\text{H}$; $-\text{OSO}_2\text{H}$; $-\text{PO}(\text{OH})_2$. Катионные свойства полиэлектролита обусловлены наличием групп: $-\text{NR}_2$; $=\text{NH}$; $=\text{NOH}$ и др.

Растворенный в воде полиэлектролит в результате диссоциации представляет собой систему, состоящую из высокомолекулярных поливалентных макроионов, окруженных низкомолекулярными противоионами.

Современные представления о механизмах действия высокомолекулярных полиэлектролитов на устойчивость коллоидных систем основаны на теоретических моделях *компенсационной* и *мостикообразования*.

В соответствие с компенсационной моделью флокуляции агрегативная устойчивость дисперсной системы нарушается вследствие снижения заряда частиц при добавлении полиэлектролита, макроионы которого имеют противоположный знак заряда. Известно эффективное применения полиэлектролитов анионного типа для флокуляции дисперсных систем минерального происхождения, которые в большинстве случаев имеют отрицательный заряд. В равной мере это относится к дисперсиям, образующимся при использовании минеральных коагулянтов. Наличие в водах, особенно сточных, микродисперсных систем органического происхождения, характеризующихся положительным знаком заряда, соответственно приводит к эффективной флокуляции катионными полиэлектролитами. Данное положение объясняет существенное влияние на эффективность флокуляции величины pH среды, узкий диапазон оптимальных доз полиэлектролитов, температуры, наличия электролитов и ряда других факторов.

Содержащиеся в сточных водах ПАВ и другие высокомолекулярные соединения приводят к существенным отклонениям от теоретических положений компенсационной модели флокуляции. Поскольку реальные дисперсные системы загрязняющих веществ гетерогенны по заряду, это означает, что даже при большой доминантной величине заряда, вероятно

наличие областей поверхности с небольшим, нулевым или с противоположным по знаку зарядом. Поэтому часто невозможно без экспериментальных исследований в конкретных условиях определить тип полиэлектролита, обладающий достаточной эффективностью.

В настоящее время проводятся исследования влияния полиэлектролитов катионного типа на лиофильные дисперсные системы без применения минеральных реагентов. Тем не менее, достаточной технологической определенности не получено, что связано с многофакторностью состояния устойчивости дисперсных систем сточных вод.

Теория мостикообразования получила широкое распространение благодаря возможности объяснения механизмов флокуляции устойчивых дисперсий как минерального, так и органического происхождения. При этом допускается как адсорбционное, так и электростатическое взаимодействие частиц дисперсии с макроинами молекул полиэлектролита. Схема флокуляции дисперсных частиц согласно модели мостикообразования приведена на рис. 4.40.

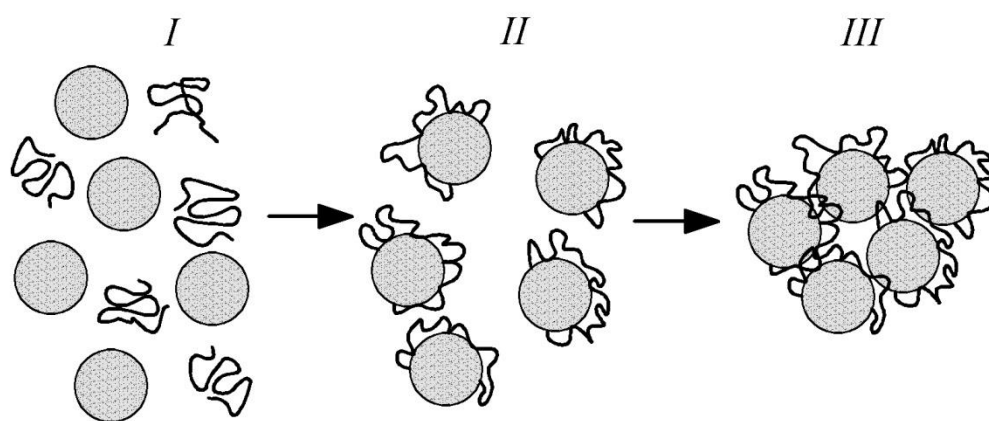


Рис. 4.40. Стадии взаимодействия дисперсной системы с высокомолекулярным полиэлектролитом: I - распределение полимера в дисперсии; II - адсорбция полимера на поверхности частиц, образование "петель" и "хвостов"; III - формирование хлопьев, сжатие дисперсионных прослоек.

Осуществление механизма мостикообразования теоретически возможно при выполнении ряда условий. Флокулирующими свойствами может обладать только полиэлектролит, способный закрепляться на поверхности частицы при

относительно малом числе контактов и формировать значительное количество свободных "хвостов" или "петель", обращенных в сторону дисперсионной среды. Кроме этого на поверхности частиц дисперсии должно быть достаточно вакантных мест, потенциально способных к взаимодействию с полиэлектролитом и его закреплению.

В рамках теории мостикообразования объясняется положительное влияние молекулярной массы полиэлектролита. Однако, средняя молекулярная масса не в полной мере отражает свойства флокулянта, так как возможны существенные различия в молекулярно-массовом распределении.

Обобщение результатов применения полиэлектролитов для интенсификации флокуляции дисперсий позволяет заключить, что механизмы их взаимодействия с исходными дисперсными системами сточных вод и, трансформированными в процессе коагулирования, более сложные, чем при флокуляции дисперсий с однородным химическим составом. Тем не менее, в технологических процессах очистки сточных вод достигнуты определенные успехи применения полиэлектролитов, в том числе в качестве реагентов-собирателей при флотационном отделении сфлокулированных гидроксидов.

В общем случае технологическая эффективность применения флокулянта любого типа может быть определена по выражению:

$$\eta_{пэ} = (U_{фloc} - U_0) / (U_0 \cdot m) ,$$

где $U_{фloc}$ и U_0 – средняя гидравлическая крупность оседающих частиц при добавлении флокулянта и исходная соответственно, мм/с; m - удельный расход флокулянта по отделенной дисперсной фазе, г/кг.

В настоящее время имеется достаточно широкий выбор органических полиэлектролитов пригодных для использования в технологиях очистки воды.

Современные полимеры по соображениям экономии, улучшения транспортировки и хранения поставляются в форме твердых гранулированных

материалов. Часть полиэлектролитов выпускается в жидком эмульгированном виде. В этом случае продолжительность их хранения существенно ограничена. Синтетический полиэлектролит способен к взаимодействию с дисперсной фазой сточных вод, только если он из сухого состояния переходит в водный раствор, где находится в виде полностью растянутых молекул. В начале растворения каждая частица полиэлектролита представляет собой прочно свернутый клубок из длинных цепей полимерных молекул. Первая фаза растворения - набухание – характеризуется образованием на наружной поверхности каждой частицы геля большой вязкости, который постепенно начинает препятствовать проникновению воды внутрь частицы полимера. Поэтому большое влияние на скорость растворения полиэлектролита оказывают соотношение воды и сухого полимера и условия перемешивания. В результате набухания твердые частицы полиэлектролита в воде превращаются в частицы геля. Во второй фазе растворения молекулы флокулянта разворачиваются и покидают наружную поверхность геля, формируя молекулярно-ионный раствор, где активируют характерные ионные группы. Простейшая установка для приготовления раствора полиэлектролита приведена на рис. 4.41. Сухой флокулянт через дозирующее отверстие поступает в диспергатор, где предварительно смешивается с водой. Далее пульпа подается в растворно-расходный резервуар, где происходит окончательное растворение полимера и приготовление требуемой его концентрации.

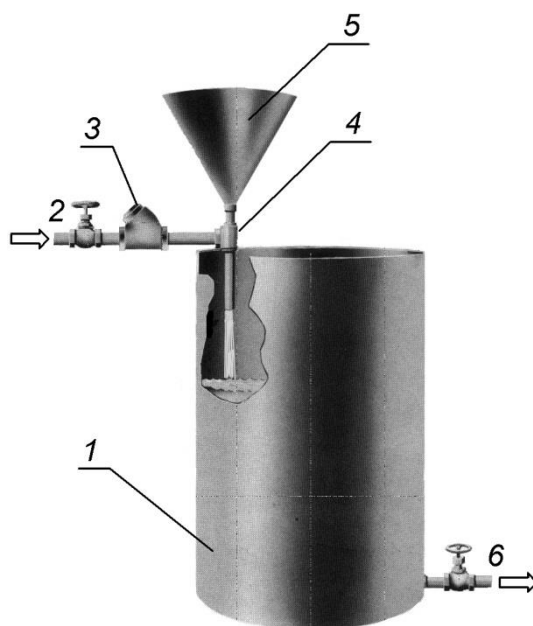


Рис. 4.41. Общий вид простейшей установки для одностадийного растворения флокулянта: 1 — растворно-расходный резервуар; 2 — подача воды для растворения; 3 — индукционный расходомер; 4 — диспергатор; 5 — дозатор сухого флокулянта; 6 — подача готового рабочего раствора флокулянта.

Схема двухстадийного приготовления и дозирования флокулянта, поступающего в сухом виде из бункера, приведена на рис. 4.42.

Для приготовления раствора, применяют предварительно заполненные водой резервуары 1, оборудованные мешалками медленного перемешивания 2. При контакте с водой гранулы полиэлектролита набухают и постепенно переходят в раствор. Во избежание слипания гранул подача реагента осуществляется с помощью диспергатора 6 эжекционного типа, в который через дозатор 9 подается сухой флокулянт и тангенциально подводится вода. По этой схеме в резервуарах 1 получают раствор с концентрацией 0,5...1,0%, а затем производится дополнительное разбавление водой, вводимой с помощью эжектора в линию дозирования флокулянта до рабочей концентрации (0,1...0,2%).

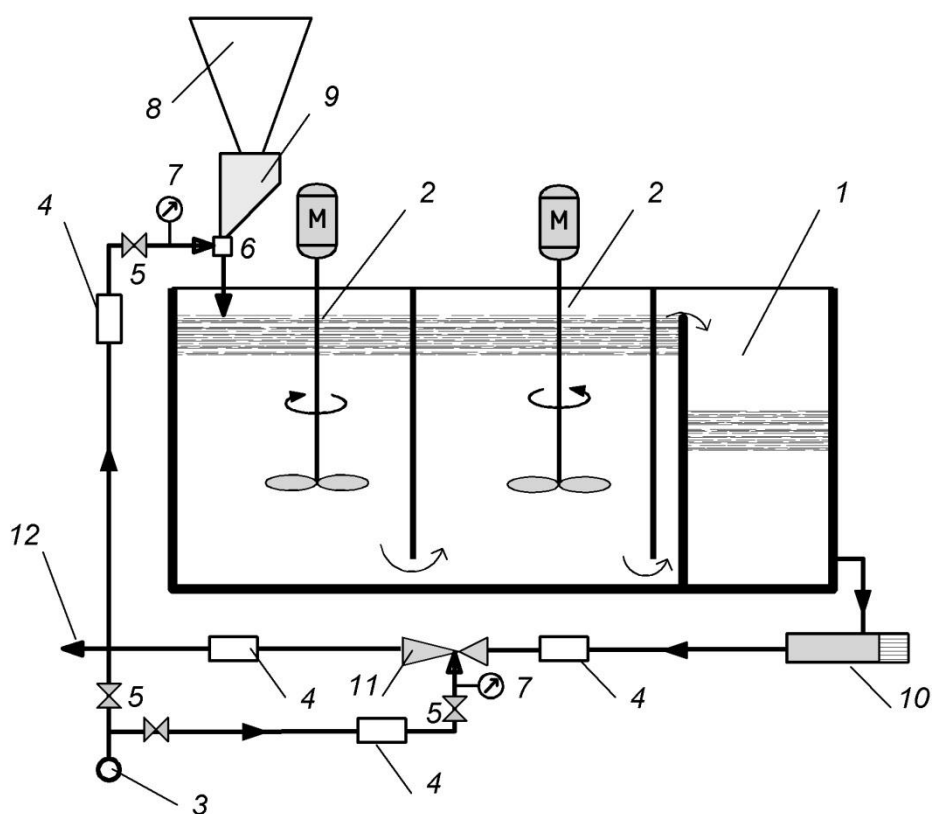


Рис. 4.42. Схема установки для двухстадийного растворения и дозирования флокулянта:
 1 — трехсекционный растворно-расходный резервуар; 2 — мешалка; 3 — подача воды-растворителя; 4 — индукционный расходомер; 5 — электрифицированная задвижка;
 6 — диспергатор; 7 — манометр; 8 — бункер сухого флокулянта; 9 — дозатор;
 10 — винтовой насос; 11 — подача готового рабочего раствора.

Продолжительность периода растворения флокулянта зависит от крупности частиц, его молекулярной массы, температуры раствора и условий перемешивания. По опыту приготовления растворов флокулянтов мелкая фракция почти полностью растворяется в течение 15...30 минут, а для крупных частиц требуется до 2 часов.

Ряд производителей выпускают флокулянты в форме микро шариков. Такой товарный продукт обладает высокой фракционной однородностью, практически не содержит пыли и обладает отличной текучестью в сухом виде. Благодаря этим свойствам, Флокулянты в микрошариковой форме характеризуются большей скоростью растворения и значительным удобством в дозировании и хранении.

Для повышения скорости распределения частиц геля по всему объему раствора, в ряде случаев возможно приготовление раствора более высокой концентрации, чем требуется. Быстро нарастающая вязкость раствора, при перемешивании способствует разрушению сгустков геля и увеличению межфазной поверхности "полимер-вода". Другое преимущество приготовления концентрированной смеси заключается в возможности создания некоторого запаса готового реагента, что уменьшает частоту его приготовления.

Ранее отмечалась важность перемешивания в процессе растворения флокулянта. Это необходимо для поддержания частиц во взвешенном состоянии, интенсификации отделения несвязанных цепей полимерных молекул от набухших частиц геля и предотвращения образования на дне растворного резервуара малоподвижной желеобразной массы.

Перемешивание должно осуществляться с достаточно большой интенсивностью, но при этом не приводить к повреждению молекул флокулянта. Это возможно при больших напряжениях сдвига, возникающих между подвижными и малоподвижными слоями раствора. Оптимальные условия перемешивания обеспечиваются медленными мешалками с большим радиусом лопастей. По этой же причине недопустимо использование центробежных, вихревых и подобных им насосов для перекачки растворов полиэлектролитов с большой молекулярной массой.

Большое значение для эффективного применения флокулянтов имеет правильный выбор технологической точки ввода в обрабатываемую воду. Главным условием является быстрое и равномерное распределение по всему объему суспензии без создания избыточной турбулентности, разрушающей образующиеся рыхлые хлопья.

Существует много инженерно-технологических решений, в большей или меньшей мере обеспечивающих эффективное применение флокулянтов. Одно из них состоит в дробном дозировании полиэлектролита в обрабатываемую воду, в сочетании с разной интенсивностью перемешивания при первой и

второй добавке. Данный способ обеспечивает высокую эффективность флокуляции высокодисперсных твердых частиц и одновременно максимально возможную крупность хлопьев.

Следует отметить, что только владение теорией флокуляции позволяет правильно оценивать свойства дисперсных систем и целенаправленно осуществлять подбор оптимального типа полиэлектrolита для конкретных вод. Не меньшее значение для достижения наибольшей эффективности применения флокулянтов имеют знания по правильному их использованию на практике.

Обобщение опыта применения полиэлектrolитов для интенсификации флокуляции дисперсий позволяет заключить, что механизмы их взаимодействия с исходными дисперсными системами сточных вод и, трансформированными в процессе коагулирования, более сложные, чем при флокуляции веществ с однородным химическим составом. Тем не менее, в технологических процессах очистки производственных сточных вод достигнуты определенные успехи их применения, в том числе в качестве реагентов-собирателей при флотационном отделении сфлокулированных гидроксидов.

Технологические процессы коагулирования сточных вод

В технологии коагулирования используют разные схемы, обеспечивающие наилучшие результаты очистки сточных вод в конкретных условиях. Наиболее распространенные приемы коагулирования это непрерывное, периодическое и дробное. Приемы периодического и дробного коагулирования не получили распространения в практике очистки сточных вод, вследствие сложности совмещения режимов подачи реагентов с колебаниями состава и расхода сточных вод.

Очень большое значение для повышения эффективности процесса коагулирования имеют технологические приемы его осуществления. В технологии коагулирования используют разные схемы, обеспечивающие

наилучшие результаты очистки сточных вод в конкретных условиях. Распространены такие приемы коагулирования как непрерывное, непрерывное с возвратом части осадка, отдельное, дробное и периодическое. Схемы технологических процессов осуществления коагулирования даны на рис. 4.43.

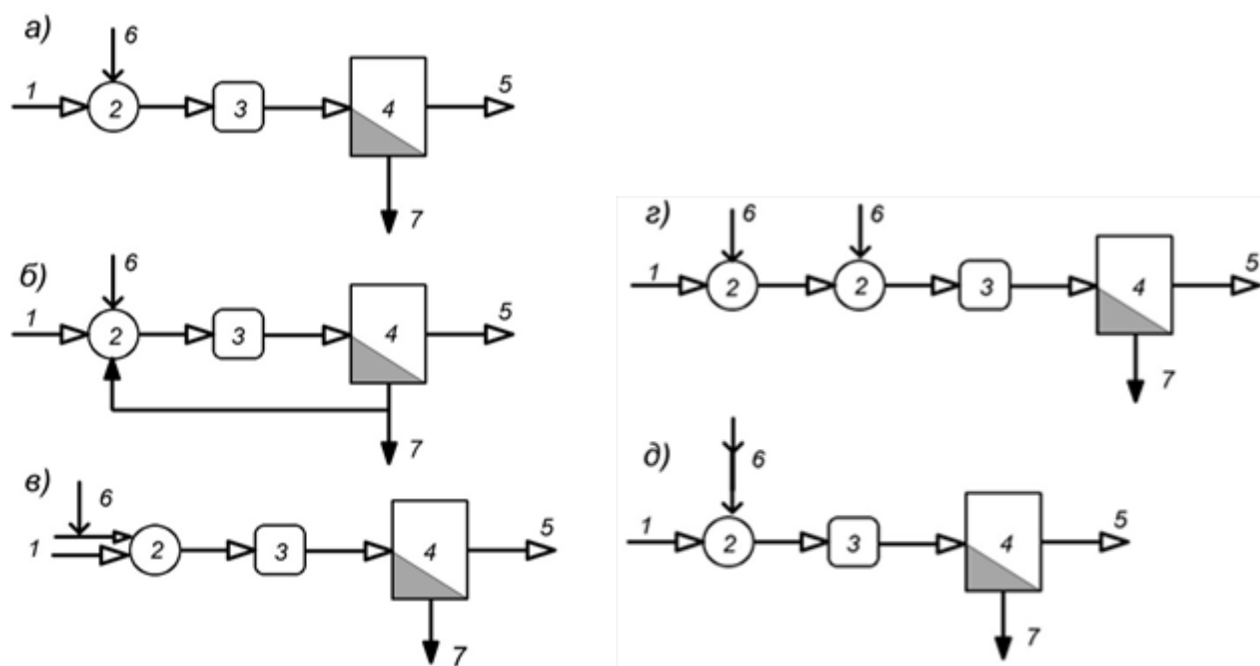


Рис. 4.43. Принципиальные схемы технологических процессов коагулирования воды:
а – непрерывное коагулирование; *б* – непрерывное с возвратом части осадка; *в* – отдельное;
г – дробное; *д* – периодическое:

1, 5 - подача сточных вод и отведение очищенной воды; 2 – смеситель; 3 – камера флокуляции; 4 – разделительное сооружение; 6 – подача коагулянта; 7 – отвод осадка.

Непрерывное коагулирование. В простейшем случае раствор коагулянта непрерывно подают в очищаемую воду непрерывно в начало смесителя. Эффективность коагулирования в этом случае будет сильно зависеть от системы управления процессом, которая должна быстро реагировать на изменение состава и количества поступающей воды. В значительной части установок для очистки сточных вод использована эта схема.

Непрерывное коагулирование с возвратом осадка. Интенсификацию коагулирования в этом случае достигают возвратом части ранее скоагулированных и отделенных примесей. Технологическая мотивация этого приема обусловлена рядом аспектов. При необходимости глубокого удаления загрязняющих веществ, как правило, используют высокие дозы коагулянта, так как при малых равновесных концентрациях, эффективность адсорбции гидроксидами низкая. Возврат отделенных осадков в область более высоких концентраций извлекаемых веществ способствует более полному использованию реагентов. Кроме этого, рециркуляция приводит к ускорению процесса образования более плотных хлопьев.

Различают рециркуляцию *внутреннюю* и *внешнюю*. При внутренней рециркуляции образовавшиеся хлопья возвращают вместо подачи коагулянта без вывода их из реакционной емкости.

В случае внешней рециркуляции предусматривается отвод шлама из камер хлопьеобразования, осветлителей, отстойников, фильтров или флотаторов и возврат его в смеситель.

Раздельное коагулирование. Введение реагентов в относительно небольшой объем очищаемой воды, а затем быстрое смешение с остальной ее частью интенсифицирует и стабилизирует процесс коагулирования. Это происходит вследствие более быстрого начала формирования хлопьев при повышенных концентрациях коагулянта в отделенной части потока сточных вод. В результате такой обработки образуются крупные и плотные хлопья, что повышает степень очистки воды. В ряде случаев прием раздельного коагулирования позволяет существенно уменьшить влияние коллоидной защиты, обусловленное присутствием ПАВ.

Дробное коагулирование. Эффективным способом интенсификации процесса коагуляции является метод, при котором реагенты добавляют к очищаемой воде несколькими порциями или последовательным введением разных реагентов. В этом случае получают полидисперсные агрегаты коагулянта, а

также увеличивается период существования положительно заряженных полиядерных гидроксокомплексов, в результате чего интенсифицируется процесс коагуляции и формирования оседающих частиц. На основе данного принципа, автором с сотрудниками разработана технология дифференцированного коагулирования в контактной массе. По сравнению с традиционным коагулированием в объеме, предложенная технология позволяет увеличить эффективность извлечения неионогенных ПАВ на 10...20%, анионных ПАВ на 20...40%, ХПК на 30...45% и практически полностью снять окраску сточных вод.

Периодическое коагулирование. Технология подачи реагентов с заданными промежутками времени не получила широкого распространения в практике очистки производственных сточных вод. Это обусловлено сложностью совмещения режимов дозирования реагентов с колебаниями состава и притока сточных вод.

Сооружения для коагулирования сточных вод

Процесс коагулирования, как отмечалось ранее, включает растворение коагулянта, гидролиз и физико-химические взаимодействия. Фазы растворения и гидролиза проходят и заканчиваются, в основном, в емкостях реагентного хозяйства. Физико-химические взаимодействия начинаются при контакте со сточными водами и включают молекулярно-кинетическую, градиентную и гравитационную фазы. Наибольшая эффективность очистки сточных вод, может быть достигнута только при обеспечении в сооружениях наиболее благоприятных условий прохождения каждой фазы процесса.

Молекулярно-кинетическая фаза коагуляции практически совпадает с периодом распределения раствора коагулянта в воде в смесителях.

Фаза градиентной коагуляции происходит в процессе более медленного и продолжительного перемешивания, осуществляемого в камерах хлопьеобразования. Особенность этой фазы коагуляции заключается в

столкновении дисперсных частиц при взаимодействии вихревых потоков, возникающих в перемешиваемом объеме воды. Очевидно, что результаты этой фазы существенно зависят от условий перемешивания в сооружении, которые принято определять средним градиентом скорости G , с^{-1} .

Коагулянты смешивают с обрабатываемой сточной водой в смесителях. Применяют перегородчатые, дырчатые, шайбовые и вертикальные смесители, а также механические с пропеллерными или лопастными мешалками. Интенсивность перемешивания соответствует градиенту скорости $G=180\ldots 250 \text{ с}^{-1}$.

Процесс хлопьеобразования осуществляют в сооружениях смешения с при среднем градиенте скорости $G=50\ldots 60 \text{ с}^{-1}$. По виду движения потока камеры хлопьеобразования могут быть водоворотные, перегородчатые, вихревые, а также с механическим и барботажным перемешиванием. Схемы камер хлопьеобразования приведены на рис. 4.44.

Перегородчатые камеры могут быть горизонтальными и вертикальными. В горизонтальной камере сточная вода протекает по нескольким последовательно соединенным коридорам. Перемешивание осуществляется за счет восьми — десяти поворотов.

Водоворотная камера хлопьеобразования представляет собой цилиндр, в верхнюю часть которого из смесителя вводится сточная вода через диаметрально расположенные сопла с противоположным направлением выхода струи. При скорости выпуска воды из сопел $2\ldots 3 \text{ м/с}$ в камере поддерживается вращательное движение. В нижней части камеры перед выходом в отстойник находятся гасители вращательного движения воды.

Вихревая камера хлопьеобразования представляет собой конический или цилиндрический расширяющийся кверху резервуар с нижним впуском сточной воды. Угол наклона стенок камеры к горизонту около 70° .

В камерах хлопьеобразования оборудованных *лопастными мешалками* поддерживают скорость движения воды $0,15\ldots 0,2 \text{ м/с}$.

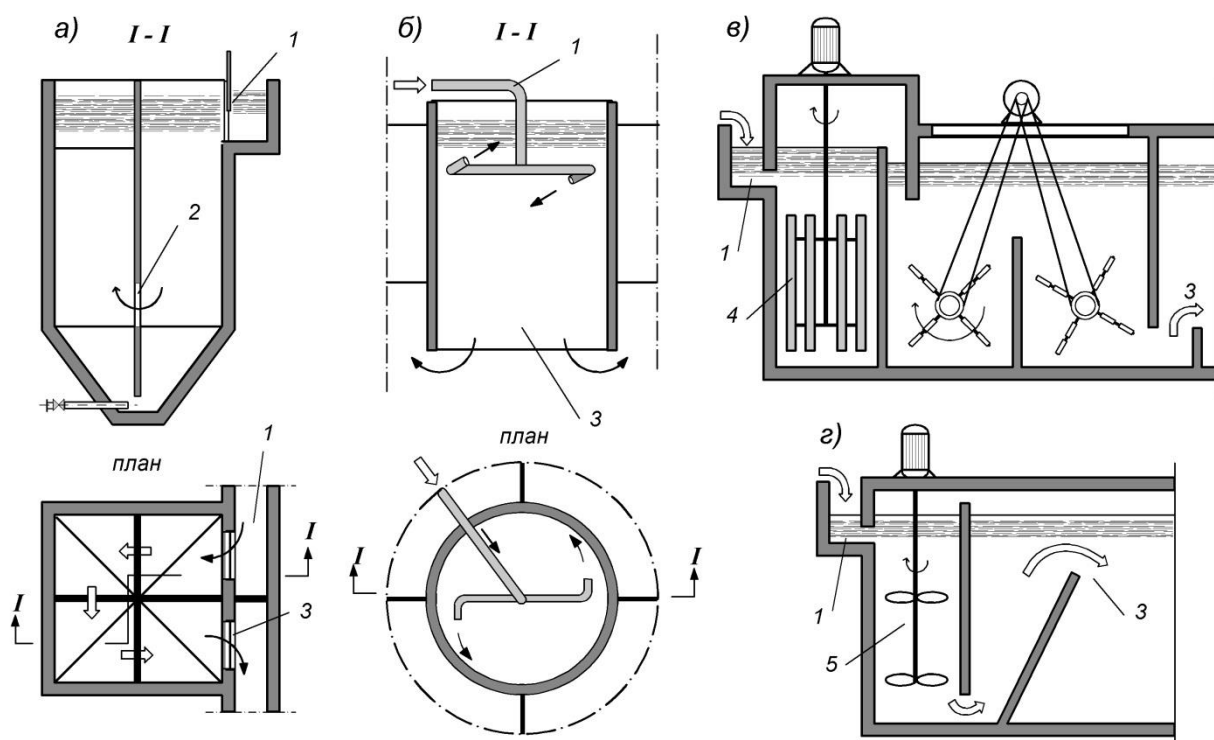


Рис. 4.44. Основные типы камер хлопьеобразования: а - перегородчатая с вертикальным движением воды; б - водоворотная встраиваемая; в - с механическим перемешиванием; г - встроенная вихревая;
 1 - поступающая вода; 2 - перепускное окно; 3 - флокулированная дисперсия; 4 - механический лопастной смеситель; 5 - механический осевой смеситель.

Барботажная камера хлопьеобразования работает с использованием энергии конвективного движения объема воды, наполненного пузырьками воздуха. В отличие от механического перемешивания при одинаковом градиенте скорости длительное барботажное перемешивание воды не приводит к нарушению тиксотропных свойств коагулированной взвеси. Однако применение барботажных смесителей и камер хлопьеобразования в практике очистки рассматриваемых сточных вод ограничено. Во многих случаях это обусловлено высокой вспениваемостью сточных вод. Кроме этого барботажное перемешивание приводит к понижению щелочности воды. Тем не менее,

барботажные камеры хлопьеобразования могут быть эффективными, например, в блоке с флотационным разделительным сооружением.

Последующее осветление сточной воды производится в горизонтальных, радиальных и вертикальных отстойниках, осветлителях со взвешенным слоем осадка или флотаторах.

Практический опыт коагулирования сточных вод, содержащих сложные органические соединения, включая ПАВ, синтетические красители, нефтепродукты и др., показывает, что для обеспечения достаточной степени очистки необходимы высокие дозы реагентов, достигающие нескольких кг на 1 м³ обрабатываемых сточных вод. В результате этого образуются большие количества обводненных осадков и шламов.

Сорбционные методы очистки сточных вод. Основы сорбционного извлечения загрязняющих веществ

Очистка промышленных сточных вод сорбционными методами находит широкое применение, как в России, так и за рубежом. С помощью этого метода достигается высокая степень извлечения органических загрязняющих веществ, что значительно облегчает дальнейшую биологическую очистку сточных вод или полностью ее заменяет, но для этого необходимо правильно учитывать многие факторы, влияющие на адсорбционный процесс. Далеко не все вещества могут быть удалены из воды сорбцией. Прежде всего, эффективность сорбции определяется химическим строением молекул извлекаемых веществ и их состоянием в водных растворах в присутствии сильных электролитов. Хорошо адсорбируются те вещества, в молекулах которых имеются ненасыщенные и сопряженные связи, а также ароматические соединения. К таким соединениям относятся ПАВ, органические красители, хлорорганические соединения, фенол и другие. Адсорбция молекул растворенных органических веществ на поверхности сорбента возможна тогда, когда энергия взаимодействия с его поверхностью бу-

дет значительно больше энергии взаимодействия растворенного вещества с водой, то есть больше энергии гидратации.

В области сорбционной очистки сточных вод приняты следующие понятия и определения.

Сорбция – поглощение одного вещества другим без изменения химического состава веществ.

Адсорбция - поглощение одного вещества другим на поверхности раздела фаз «вода - твердое вещество».

Сорбент – вещество, поглощающее из водной среды загрязняющее вещество.

Сорбтив – загрязняющее вещество, поглощаемое из водной среды.

Сорбат – загрязняющее вещество, поглощенное сорбентом.

Удельная адсорбция – отношение массы поглощенного вещества (сорбата) к массе поглощающего вещества (сорбента).

Равновесная концентрация – концентрация сорбтива в воде, находящаяся в динамическом равновесии при данных условиях сорбции.

Для описания сорбционных процессов очистки воды используют показатели, обеспечивающие возможность расчета технологического оборудования и режимов его работы.

Одним из основных показателей процесса адсорбционного взаимодействия является изотерма сорбции, отражающая функциональную зависимость удельной адсорбции загрязняющего вещества от равновесной концентрации его в воде:

$$a = f(C_a)_{t=const},$$

где a – удельная сорбция – количество загрязняющих веществ (в единицах массы или объема), извлекаемых сорбентом (в единицах массы, объема или поверхности); C_a – равновесная концентрация – концентрации сорбата и сорбтива, находящиеся в динамическом равновесии при данных условиях сорбции и для данной температуры системы – t .

Известно несколько типов изотерм сорбции линейного и нелинейного видов:

- изотерма Генри $a = KC_a$;
- изотерма Фрейндлиха $a = KC_a^{1/n}$;
- изотерма Ленгмюра $a = a_{\infty} \frac{KC_a}{1 + KC_a}$,

где a – удельная адсорбция; K – константа равновесия; n – эмпирическая константа; a_{∞} – предельная адсорбция.

Изотермы сорбции характеризуют статическое равновесное состояние системы (рис.4.45).

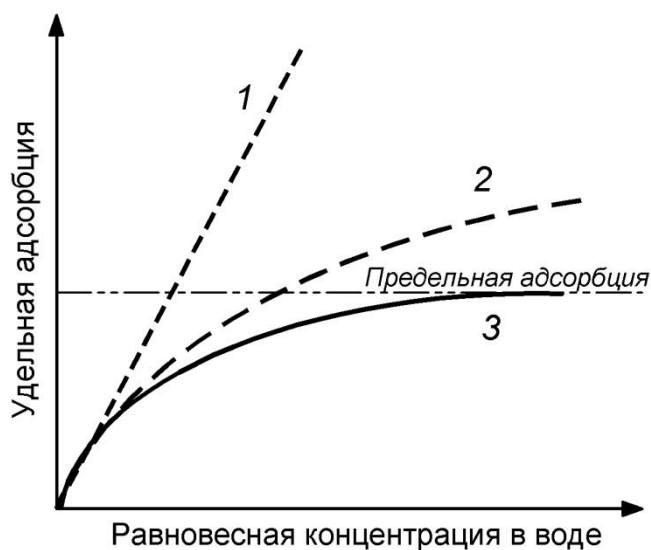


Рис. 4.45. Типичные виды изотерм сорбции:

1 – изотерма Генри; 2 – изотерма Фрейндлиха; 3 – изотерма Ленгмюра.

Закономерно, что все изотермы демонстрируют уменьшение удельной сорбции в области малых концентраций извлекаемых веществ. Поэтому в области малых значений концентрации загрязняющих веществ, например, на заключительной стадии очистки воды для расчетов допустимо использовать линейную изотерму Генри.

Наряду с показателями сорбции в равновесном состоянии, важное практическое значение имеет скорость достижения равновесного состояния. Скорость достижения равновесного состояния отражает динамические показатели сорбции. К ним относят - скорость адсорбции для адсорбера-смесителя и

скорость перемещения фронта адсорбционной волны для адсорбционного фильтра.

Технологические процессы сорбционной очистки сточных вод

В технологии очистки сточных вод используют процессы статической и динамической сорбции.

Процесс статической сорбции осуществляется в контактных реакторах, в которые сорбент подается в определенной пропорции к сорбтиву и находится с ним в контакте необходимый период времени. За этот период устанавливается динамическое равновесие в содержании извлекаемых веществ в воде и на поверхности сорбента. Для обеспечения наибольшей скорости адсорбции сорбент и обрабатываемая вода должны поддерживаться в подвижном состоянии.

Скорость адсорбции зависит от концентрации, природы и структуры извлекаемых веществ, температуры воды и свойств адсорбента. В общем случае процесс адсорбции включает три стадии: перенос веществ из объема сточной воды на поверхность адсорбента (внешнедиффузионная область), собственно адсорбционный процесс, перенос вещества в поровое пространство зерен адсорбента (внутريدиффузионная область). Например, установлено, что лимитирующая стадия адсорбции ПАВ в большинстве случаев лежит во внешнедиффузионной области массопереноса.

Коэффициент внешней массоотдачи характеризует скорость поглощения сорбтива единицей объема адсорбента.

Следовательно, в адсорбере-смесителе динамика процесса зависит от турбулентности потока при перемешивании.

Очистка воды с использованием процессов статической сорбции может осуществляться по трем принципиальным схемам: *прямоточной с однократным использованием сорбента, противоточной с многократным использованием сорбента и циркуляционной с использованием*

псевдооживленного слоя. Полный технологический процесс сорбционной очистки воды может осуществляться в одну и более ступеней.

В прямоточной и противоточной схемах, как правило, используют порошкообразные сорбенты.

Прямоточная схема процесса статической сорбции не требует больших капитальных затрат на строительство, позволяет вести процесс с использованием разных сорбентов, осуществлять очистку воды постоянно или периодически (рис. 4.46.).

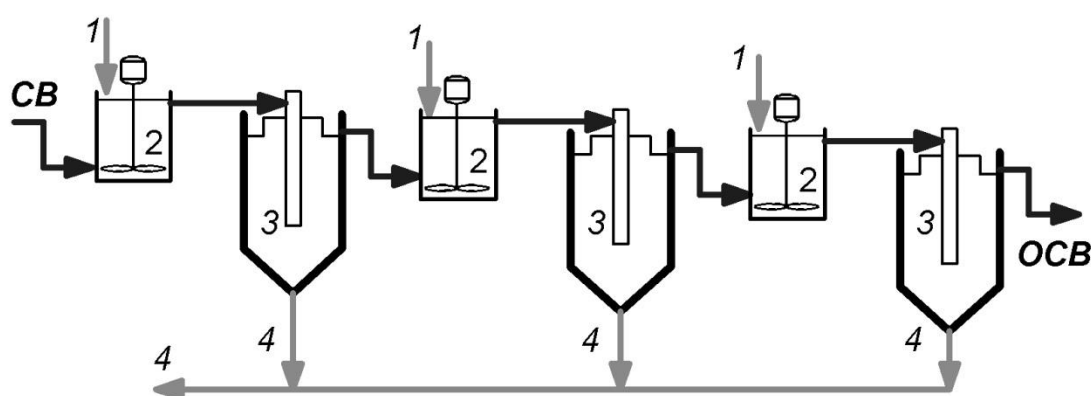


Рис. 4.46. Схема трехступенчатого процесса статической сорбции с прямоточным однократным использованием сорбента:

1 – подача свежего сорбента, 2 – смесительный аппарат с мешалкой; 3 – отстойник; 4 – отведение отработанного сорбента.

В прямоточной схеме адсорбционная способность активного угля или другого сорбента используется только частично, что обусловлено низкой удельной адсорбцией в области малых концентраций извлекаемых загрязняющих веществ.

Достоинства многоступенчатого процесса статической сорбции с прямоточным однократным использованием сорбента – высокая надежность извлечения загрязняющих веществ, возможность использования разных сорбентов (в том

числе реагентов) на отдельных ступенях процесса, возможность изменения доз сорбента по ступеням. Главный его недостаток — высокий расход адсорбента.

Уменьшить общий расход сорбента в прямоточной схеме можно, применив дробное дозирование в сочетании с устройством нескольких последовательных ступеней обработки воды.

Противоточная схема процесса статической сорбции загрязняющих веществ с многократным использованием сорбента позволяет достичь существенного снижения его расхода (рис.4.47).

В этой схеме введение свежего сорбента осуществляется перед последней ступенью, в которой устанавливается адсорбционное равновесие, соответствующее заданной концентрации загрязняющих веществ в очищенной воде.

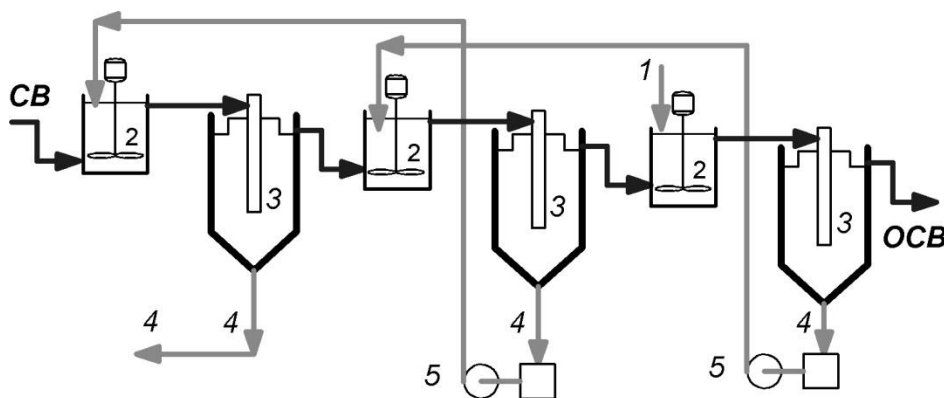


Рис. 4.47. Схема трехступенчатого процесса статической сорбции с противоточным использованием сорбента:

1 – подача свежего сорбента, 2 - смесительный аппарат с мешалкой; 3 – отстойник; 4 – отведение отработанного сорбента; 5 – насос-дозатор.

В соответствие с изотермами сорбции, сорбционная емкость в этом случае используется незначительно. Дальнейшее последовательное перемещение отделенного сорбента по ступеням очистки воды к первой, в которой содержание загрязняющих веществ, соответствует начальному, обеспечивает более полное использование сорбционной емкости.

Расход сорбента, вводимого в последнюю ступень установки процесса статической сорбции с противоточным дозированием определяют по уравнению изотермы сорбции. Причем, величину удельной адсорбции принимают соответствующей равновесной концентрации близкой к начальному содержанию загрязняющих веществ в поступающей воде. Достоинства процесса статической сорбции с противоточным дозированием включают высокую степень использования сорбционной емкости сорбентов, дозирование в одну точку, меньшие дозы свежих сорбентов и объемы отработанных. В числе недостатков - небольшая технологическая гибкость процесса.

Наибольший эффект экономии сорбента в этой схеме достигается при использовании нескольких контактных ступеней, что в свою очередь приводит к увеличению стоимости оборудования пропорционально их числу. Поэтому оптимизация работы этой схемы состоит в подборе наилучшего сочетания дозы вводимого сорбента и числа ступеней переноса.

При использовании мелкодисперсных и порошкообразных сорбентов качестве реакторов, как правило, применяют смесители с механическим перемешиванием. Разделение суспензии, в зависимости от ее физических показателей, может осуществляться в отстойниках или гидроциклонах. Промежуточные ступени отделения сорбента рассчитывают на эффективность задержания твердой фазы 90...95%. На заключительной стадии очистки воды от остатков сорбента предусматривают фильтрование. Для этого используют скорые фильтры с крупнозернистой загрузкой, патронные, листовые и другие типы.

Рециркуляционная схема процесса статической сорбции с использованием псевдоожиженного слоя применяется в адсорберах, работающих при высоком содержании в сточных водах сопутствующих взвешенных веществ, способных заиливать сорбенты, а также при медленном процессе установления динамического равновесия.

Режим *псевдооживления* слоя тяжелых частиц наступает при повышении скорости восходящего потока жидкости до величины, превышающей их гидравлическую крупность. При этом, частицы обладающие большей гидравлической крупностью размещаются на нижней границе слоя, а частицы с наименьшей скоростью падения располагаются на верхней границе. Высота расширения псевдооживленного слоя зависит от дисперсного состава оседающих частиц и степени заполнения поперечного сечения реактора.

Важным показателем псевдооживленного слоя является величина относительного расширения или оживления. Для цилиндрической колонны показатель относительного расширения равен отношению высоты псевдооживленного слоя к его высоте в неподвижном состоянии:

$$\varepsilon_w = H / H_0,$$

где H — высота псевдооживленного слоя; H_0 — высота неподвижного слоя.

Для псевдооживленного слоя существуют две характерные величины скорости восходящего потока воды:

первая критическая скорость, при которой частицы дисперсного материала начинают витать в потоке воды;

вторая критическая скорость, при которой витающие частицы выносятся из реактора.

Наилучшие условия адсорбции вещества из потока воды следующие:

- минимизация относительного расширения ε_w , при поддержании скорости потока воды больше второй критической для сопутствующих взвешенных веществ;
- высокая дисперсность адсорбента для получения большой поверхности сорбции;
- достаточная высота псевдооживленного слоя для снижения влияния продольной диффузии извлекаемых загрязняющих веществ.

Конструктивное исполнение адсорбционных реакторов с использованием псевдоожиженного слоя может существенно различаться. Однако во всех конструкциях высота псевдоожиженного слоя должна быть достаточной для исключения проскока неочищенной воды (рис.4.48).

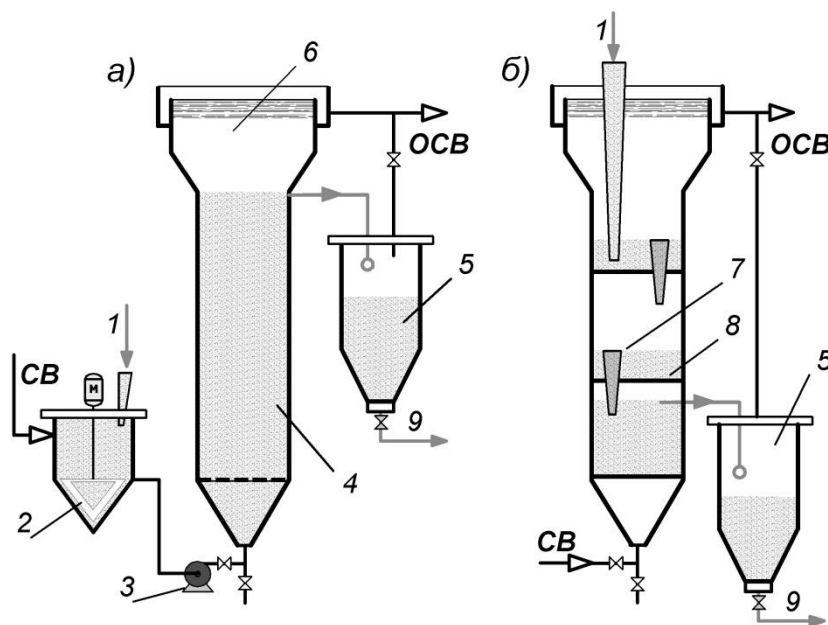


Рис.4.48. Адсорбционные реакторы с псевдоожиженным слоем сорбента:

а - одноярусный с выносным смесителем; б - трехъярусный с переливными трубами; 1 - загрузка угля; 2 - смеситель с лопастной мешалкой; 3 - песковой насос; 4 - взвешенный слой сорбента; 5 - уплотнитель отработанного сорбента; 6 – зона освещения; 7 - переливные трубы; 8 - беспровальные решетки; 9 - выпуск отработанного сорбента.

Одноярусный адсорбер с выносным смесителем обеспечивает лучшие условия образования суспензии сорбента и более эффективное использование его сорбционной емкости (см. рис. 4.48а). В этой схеме свежий уголь или другой адсорбент подают в смеситель, снабженный лопастной мешалкой, совершающей 40... 60 об/мин. Туда же поступает сточная вода. Из смесителя суспензию непрерывно перекачивают в адсорбционную колонну песковым насосом.

Более сложную конструкцию представляет собой трехъярусный адсорбер с переливными трубами (см. рис. 4.48б). Псевдоожиженный слой формируется в пространстве над тарелками, например колпачковыми, образующими ярусы по

высоте адсорбционной колонны. Ярусы соединены между собой коническими переливными трубами. Широкая часть труб выступает над тарелкой на высоту, соответствующую верхней границе псевдоожиженного слоя. Узкие концы переливных труб погружены в нижерасположенный псевдоожиженный слой. В верхнюю часть адсорбера подают суспензию сорбента, а в нижнюю - сточную воду. Отработанный сорбент отводят из нижнего яруса псевдоожиженного слоя в сборник. Такая конструкция адсорбера практически исключает проскок воды, минуя контакт с адсорбентом.

Основной недостаток установок, использующих процесс статической сорбции, состоит в неполном использовании сорбционной емкости сорбентов.

Процесс динамической сорбции осуществляют в адсорберах, действие которых основано на процессе фильтрования сточных вод через неподвижный слой сорбента (рис. 4.49.).

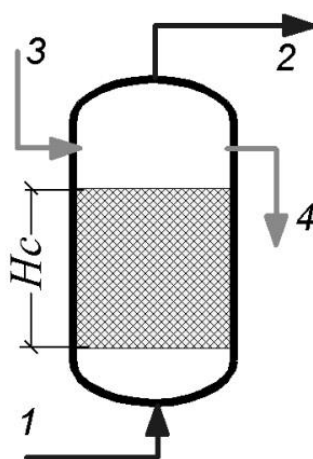


Рис. 4.49. Принципиальная схема адсорбера с неподвижным слоем сорбента (сорбционного фильтра):

1 – подача сточных вод; 2 – отвод очищенной воды; 3 - подача свежего сорбента; 4 – выгрузка отработанного сорбента.

Этот процесс применяют, если в обрабатываемой воде практически отсутствуют взвешенные вещества.

Конструкция адсорбера с неподвижным слоем сорбента имеет много общего с напорными фильтрами, применяемыми для осветления воды.

Процесс ведут до момента проскока в фильтрат извлекаемых веществ в количестве, превышающем заданный технологический уровень. При этом адсорбент постепенно заполняется сорбтивом до величин, близких к предельной адсорбции. Истощение сорбционной емкости происходит послойно в направлении фильтрования.

Поскольку скорость адсорбции определяется скоростью массопереноса, процесс поглощения вещества из потока воды протекает не мгновенно, а в течение некоторого периода времени, то и концентрация в потоке уменьшается от начальной (C_0) до конечной (C) за этот же период. При этом элемент потока воды переместится на расстояние H_0 . Участок слоя адсорбента, в котором происходит снижение концентрации загрязняющих веществ от C_0 до C , называется "работающим слоем".

При достаточно большом периоде защитного действия, общая высота адсорбционного слоя существенно превышает конструктивно обоснованные размеры адсорбционных фильтров. Поэтому, общая высота слоя сорбента «распределяется» между группой последовательно работающих фильтров (рис. 4.50).

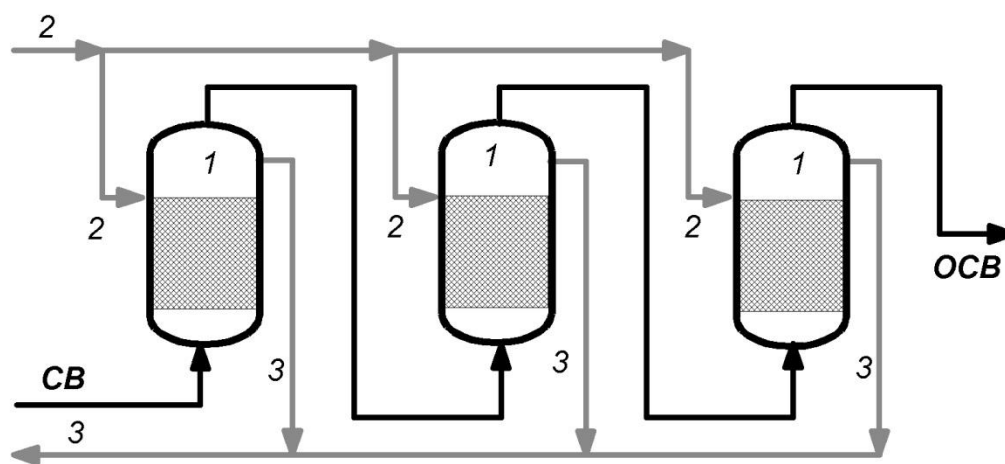


Рис. 4.50. Схема установки фильтров динамической сорбции:

1 - адсорбционный фильтр; 2 - подача свежего сорбента; 3 – выгрузка отработанного сорбента.

Соответственно, необходимое количество одновременно работающих адсорбционных фильтров составит:

$$N = H_c / H_\phi,$$

где H_c – высота слоя адсорбента, необходимая для обеспечения заданной продолжительности фильтроцикла, м;

H_ϕ — конструктивная высота слоя загрузки одного принимаемого фильтра, м.

Адсорберы с неподвижным слоем сорбента (сорбционные фильтры) конструктивно выполняются открытыми (безнапорными) и закрытыми (напорными).

Каждый адсорбер оборудуется необходимой контрольной, регулирующей и запорной арматурой, обеспечивающей технологический режим работы аппаратов. Основная контрольно-измерительная аппаратура адсорберов включает расходомер для замера текущей производительности адсорбера и счетчик воды, прошедший через адсорбционный фильтр. Напорные адсорберы дополнительно оборудуют манометрами, регистрирующими давление до и после аппарата.

Открытые адсорбционные фильтры выполняют в виде железобетонных резервуаров прямоугольного или круглого сечения.

Закрытые адсорбционные фильтры изготавливают в стальных цилиндрических корпусах, схожих с напорными фильтрами (рис. 4.51).

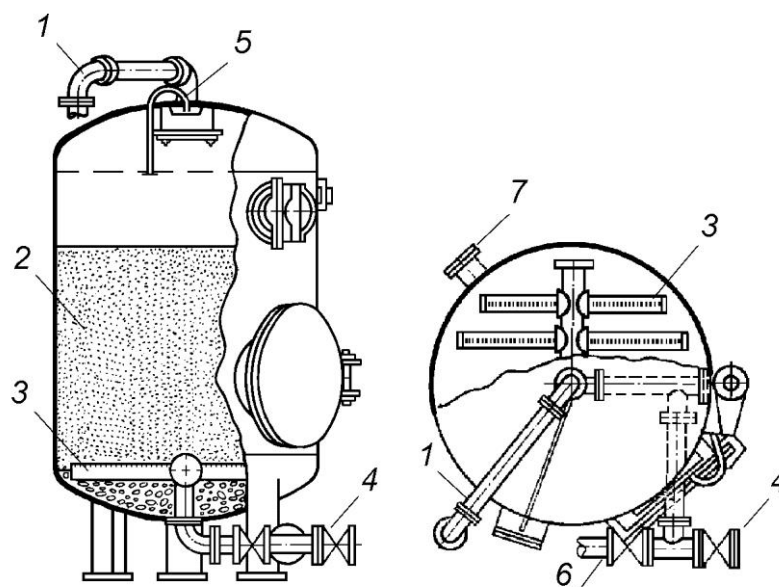


Рис. 4.51. Схема напорного адсорбционного фильтра, загруженного активным углем:
 1 и 4 - поступающая и очищенная вода; 2 — неподвижный слой активного угля; 3 -
 распределительная система; 5 - трубка для сброса воздуха; 6 - трубопровод подачи
 взрыхляющей воды; 7 — трубопровод гидравлической загрузки активного угля.

Направление движения жидкости в напорных адсорберах чаще всего осуществляется снизу вверх через слой гранулированного адсорбента. В адсорберах с подачей очищаемой воды в загрузку снизу вверх при необходимости проводят отмывку всего слоя сорбента. Недостатком такой промывки является возможное смещение слоев адсорбента с установившимся адсорбционным равновесием, что приводит к уменьшению периода защитного действия адсорбера.

Материалы, используемые в качестве сорбентов в процессах очистки сточных вод

В качестве сорбентов используют активные угли, синтетические сорбенты и некоторые отходы производства (зола, шлаки, опилки и другие). Минеральные сорбенты — глины, силикагели, алюмогели и гидроксиды металлов для адсорбции различных веществ из сточных вод используют мало, так как энергия взаимодействия их с молекулами воды велика — иногда превышает энергию адсорбции. Наиболее универсальными из адсорбентов являются активные угли, однако они должны обладать определенными свойствами (рис.

4.52). Они имеют ряд преимуществ перед другими сорбентами: жесткая пористая структура, достаточная механическая прочность, химическая и термическая стойкость.



Рис. 4.52. Внешний вид активного угля АГ-3

Активированные угли, предназначенные для очистки промышленных сточных вод, должны быть относительно крупнопористыми, чтобы их поверхность была доступна для сложных молекул веществ, попадающих в отходы промышленности органического синтеза. Они должны обладать небольшой удерживающей способностью при регенерации и возможно большей способностью противостоять истиранию, а также легко смачиваться водой. В зависимости от способа применения активированные угли должны иметь определенный гранулометрический состав.

В большинстве случаев желательно, чтобы угли, применяемые для очистки сточных вод и, особенно, для рекуперативной очистки, обладали минимальной каталитической активностью по отношению к реакциям окисления, конденсации и другим процессам, приводящим к необратимой сорбции либо к обесцениванию извлеченных из сточных вод продуктов.

Для очистки производственных сточных вод все большее применение находят неуглеродные сорбенты естественного и искусственного происхождения.

Использование сорбентов на основе природных материалов (глинистые породы, цеолиты и другие материалы) обусловлено сравнительно низкой стоимостью, доступностью, высокой сорбционной емкостью, избирательностью, а также ионообменными свойствами некоторых из них.

Среди минеральных сорбентов природного происхождения наибольшее распространение получили глинистые породы, в состав которых обычно входят материалы с регулярной структурой.

Дисперсные кремнеземы осадочного происхождения на 68...99% состоят из аморфной двуокиси кремния. К ним относятся опоки, трепел и диатомит.

Опоки обладают мезопористой структурой с размером основного количества пор 6...10 нм, высокой механической стойкостью и не размокают в воде. Трепел — минеральный сорбент, у которого объем макропор составляет 70...75% порового пространства. Диатомит также имеет в основном макропористую структуру, поры размером 4...40 нм составляют только 15% общего объема пор.

Слоистые алюможелезomagниевые силикаты делятся на минералы с расширяющейся и жесткой структурой. Силикаты с расширяющейся структурой (вермикулит и монтмориллонит) составляют основу бентонитовых глин. Эти сорбенты обладают значительной емкостью по отношению к полярным веществам (воде, спиртам, аминам). Их сорбционная емкость значительно превышает катионообменную. На основе природных гидрослюд специальной обработкой получают вспученный вермикулит, применяемый для сорбции углеводов (рис.4.53).



Рис. 4.53. Сорбенты, созданные на основе природных материалов.

У слоистых сорбентов с жесткой структурой (каолинит, тальк и гидрослюда) активная поверхность обусловлена лишь вторичной структурой, представленной переходным и макропористым пространством между микрочастицами силикатов.

Слоисто-ленточные силикаты (полыгорскит и сепиолит) также обладают развитой вторичной пористой структурой с микропорами размером 0,37...1,1 нм. Поверхность вторичной пористой структуры обуславливает эффективность сорбции высокомолекулярных соединений.

Особое место в ряду природных сорбентов занимают *цеолиты*. Это природные алюмосиликаты. Они обладают отрицательно заряженным трехмерным алюмосиликатным каркасом строго регулярной тетраэдрической структуры. В промежутках каркаса находятся гидратированные катионы щелочных металлов, компенсирующие заряд каркаса, и молекулы воды. При нагревании цеолитов из них выделяется вода, в результате чего образуются адсорбционные полости, соединяющиеся между собой порами малых размеров. В качестве сорбентов наибольшее распространение имеют шабазит, морденит и клиноптилолит.

Основным препятствием практического использования природных материалов в качестве сорбентов является низкая сорбционная емкость и, как следствие, большое количество отходов.

Стоимость естественных сорбентов в десятки раз ниже, чем искусственных, поэтому их, как правило, не регенерируют. Предварительная обработка может существенно увеличить стоимость природных сорбентов. Поэтому целесообразность их использования определяется с учетом технологических, экологических, экономических и других факторов.

В настоящее время налажено промышленное производство *синтетических пористых материалов*, часть которых по физико-химическим свойствам отнесена к адсорбентам. Пористая структура полимеров достигается введением в смесь реагентов при полимеризации инертного растворителя, после удаления которого образуется сложная система пор.

Пористые полимерные адсорбенты на основе стирола и дивинилбензола получили название "*полисорбы*". Они эффективны при извлечении из сточных вод ряда органических соединений, например, нитро- и хлорпроизводных алифатических и ароматических углеводородов. В динамике сорбционного процесса полисорбы характеризуются большей подвижностью адсорбционного равновесия. Одной из причин меньшей удерживающей способности полисорбов по сравнению с активными углями является экранирование атомами водорода углеродных атомов полимерных цепей каркаса полисорба. Другая причина состоит в малом содержании микропор в структуре полисорба. В тоже время, это свойство полимерных сорбентов позволяет проводить эффективную регенерацию их растворителями или отгонкой паром, что особенно важно при осуществлении регенеративной очистки производственных сточных вод.

Перспективный интерес представляют углеродные и хемосорбионные волокна, выпуск которых в настоящее время освоен на нескольких предприятиях.

Наряду с природными и искусственными материалами, применяемыми в качестве сорбентов, для очистки промышленных сточных вод могут быть использованы отходы производств и продукты вторичной переработки

материалов. На рис. 4.54. приведены образцы сорбционных материалов, полученных при вторичной переработке резины и полиэтиленовой пленки.



Рис. 4.54. Сорбенты, полученные при переработке отходов производства.

Особенности структуры частиц таких сорбционных материалов ограничивают их применение реакторами статической сорбции. Наибольшее распространение этот вид сорбентов получил при ликвидации чрезвычайных ситуаций, связанных с загрязнениями поверхности почвы и водоемов, например, при разливах нефтепродуктов. Регенерация использованных сорбентов этого вида, как правило, не проводится.

Очистка сточных вод флотацией

Процессы адсорбционно-пузырькового извлечения загрязняющих веществ

Широкое распространение в настоящее время получили технологии очистки природных и сточных на основе процессов адсорбционно-пузырькового разделения (АПР). Их применяют для очистки сточных вод легкой, нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей, пищевой, металлообрабатывающей и многих других отраслей промышленности.

Методы очистки сточных вод с использованием процессов АПР универсальны для удаления загрязняющих веществ, находящихся в различных фазово-

дисперсных состояниях (Рис. 4.55).

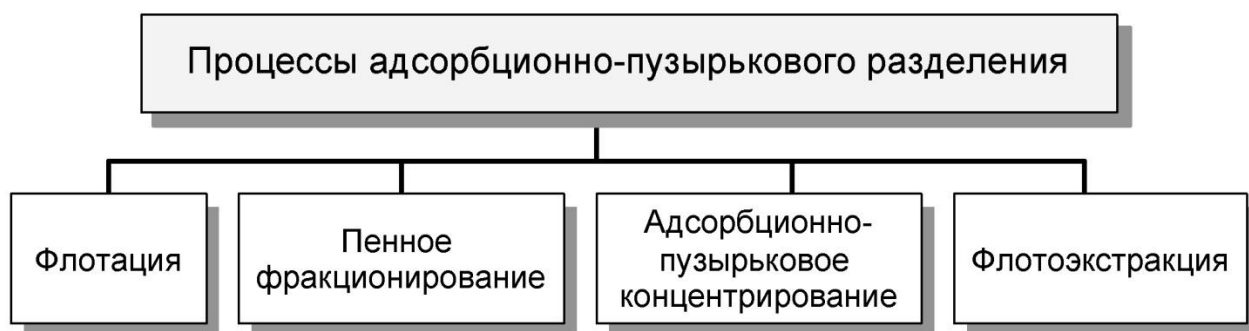


Рис. 4.55. Общая классификация процессов адсорбционно-пузырькового разделения в технологии очистки воды.

Среди процессов АПР наиболее распространены флотация и пенное фракционирование. Флотация – один из процессов АПР, основанный на формировании всплывающих агломератов загрязняющих веществ с диспергированной газовой фазой – флотокомплексов и последующим их отделением в виде концентрированного пенного продукта – флотошлама.

Отличие пенного фракционирования заключается в лимитирующих стадиях этих процессов. Эффективность флотационного процесса определяется условиями формирования флотокомплексов и всплывания их на открытую поверхность, в то время как для пенного фракционирования главным является скорость инверсии газовой фазы на открытой поверхности и отвод пенного продукта.

Процесс адсорбционно-пузырькового концентрирования применяют для извлечения загрязняющих веществ, сорбируемых диспергированной газовой фазой, но не обладающих пенообразующей способностью.

Флотозэкстракция – процесс разделения, в котором в качестве микродисперсии применена жидкая фаза, несмешивающаяся с водой.

В процессах АПР загрязняющие вещества извлекаются из воды диспергированной газовой фазой (ДГФ) в форме сложных гетерофазных структур строго определенного типа – флотокомплексов (ФК). Элементарный

ФК может быть представлен тремя основными типами: газово-дисперсным, дисперсно-газовым и газово-молекулярным (табл. 3.5).

Использование кинетических показателей формирования флотокомплексов позволяет оценить необходимое количество ДГФ для эффективного достижения целей флотации на этапе проектирования установок, осуществить технологический анализ условий формирования флотокомплекса в действующих флотационных установках, выбрать эффективное направление интенсификации процесса флотационной очистки воды. Кроме этого, целенаправленный подбор условий формирования флотокомплексов и показателей ДГФ создает возможность селективного отделения загрязняющих веществ методами флотации.

Особенностью флотационного разделительного процесса является наличие двух видов границ раздела фаз "жидкость-газ" - динамической и инверсионной, на поверхностях которых происходят основные его стадии.

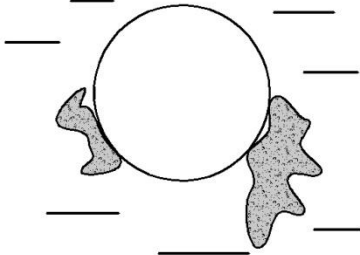
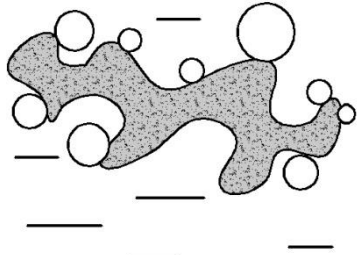
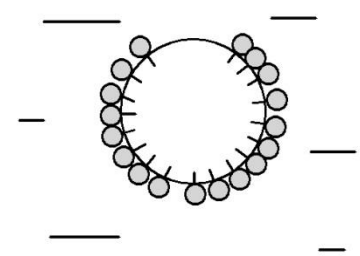
Динамическая поверхность, образованная боковой поверхностью дисперсии пузырьков газа, находящихся в объеме жидкости, постоянно возобновляется в результате работы системы получения диспергированной газовой фазы и выхода пузырьков из жидкости.

Инверсионная поверхность - это открытая поверхность флотатора, на которой происходит пенообразование и также постоянное обновление вследствие инверсии фаз: «газ в жидкости» → «жидкость в газе».

Процесс извлечения загрязняющих веществ из воды начинается с возникновением динамической поверхности.

Таблица 4.5

Основные типы и свойства элементарных флотокомплексов

Тип флотокомплекса	Условия формирования	Технологические свойства	Виды извлекаемых загрязняющих веществ
Газово-дисперсный 	Формируется при столкновении дисперсных частиц загрязняющих веществ с ДГФ, полученной барботажными и гидродинамическими способами при всплывании.	Высокая скорость всплывания, низкая энергия связи частицы с поверхностью пузырька. Не агломерируют, газовая фаза склонна к коалесценции с разрушением структуры. Динамически неустойчив.	Грубодисперсные примеси с использованием флотореагентов, ПАВ в области пониженного поверхностного натяжения, вязкие гидрофобные жидкости при большом содержании.
Дисперсно-газовый 	Формирование происходит в процессе зарождения и роста пузырьков, а также в результате адсорбции ДГФ на межфазной поверхности. Образуется при получении ДГФ выделением из воды, а также при интенсивных гидродинамических воздействиях.	Низкие скорости всплывания. Часто имеется избыток поверхностной энергии, приводящий к агрегации комплексов. Динамически устойчив, способен к частичной рекомбинации.	Универсален в отношении жидких и твердых дисперсных загрязняющих веществ, ПАВ и др. Скорость очистки лимитируется производительностью системы получения ДГФ.
Газово-молекулярный 	Формируется в результате сорбции органических молекул и ионов, растворенных в воде, на границе раздела фаз. Возможен на ДГФ, полученной любыми способами. Флотируемость удовлетворительно описывается изотермами сорбции.	Скорость всплывания определяется крупностью ДГФ. Внешняя поверхность сильно поляризована, что препятствует коалесценции и агломерации. Динамически устойчив.	ПАВ, частично гидролизированные нефтепродукты, органические смолы. В сочетании с комплексообразователем извлечение ионов, в том числе неорганических.

Скорость заполнения ее зависит от электростатического взаимодействия двойных электрических слоев извлекаемых частиц и пузырьков, скоростей диффузионного и гидродинамического массопереноса и ряда других факторов. Максимальное значение этой скорости имеет место в момент образования динамической поверхности.

Далее потоки ДГФ с вакантной поверхностью и флотокомплексы перемещаются вверх, образуя зону с относительно стабильным динамическим распределением загрязняющих веществ между жидкой и газовой фазами. Достигнув инверсионной границы раздела фаз, происходит качественное изменение потоков. Поток ДГФ, освобождаясь от значительной части газовых пузырьков и захватывая часть загрязняющих веществ из концентрированного подслоя инверсионной поверхности, опускается вниз вследствие большей объемной плотности. Поток флотокомплексов, вследствие инверсии газовой и жидкой фаз, образует концентрированных подслоя с четкой нижней границей извлекаемых загрязняющих веществ, многофазную структуру или пену, в зависимости от типа всплывающего комплекса. Соответственно, процесс флотационной очистки воды и его эффективность определяется совокупностью следующих материальных потоков:

- сорбция и десорбция загрязняющих веществ на динамической поверхности (возникновение и разрушение флотокомплексов);
- перенос флотокомплексов из объема жидкости на инверсионную поверхность и возврат в объем жидкости извлекаемых веществ, не перешедших в пенный слой;
- пенообразование и конденсация пены на инверсионной поверхности.

Широкий диапазон изменения скоростей всплывания ДГФ, получаемой разными методами, а также большой интервал изменения содержания загрязняющих веществ, как в исходных, так и очищенных сточных водах, вносят различия в прохождение основных стадий флотационного процесса.

Эффективность работы сооружений зависит от конструктивных и технологических решений, а также условий реализации процессов в каждом конкретном случае.

Сооружения для очистки сточных вод флотацией

Традиционным признаком классификации флотационных сооружений принят способ получения диспергированной газовой фазы (ДГФ).

Все существующие способы можно разделить на следующие группы - дробление газовой фазы (диспергирование) в толще жидкости и непосредственное выделение из обрабатываемой воды (рис.4.56).

В соответствии с этим признаком, классификация флотационных сооружений включает барботажные флотаторы, эжекционные и струйные, импеллерные, компрессионные, вакуумные и электрохимические.

Барботажный способ получения ДГФ в очистных сооружениях является одним из наиболее распространенных, когда диспергируемый газ проходит через поры (отверстия) фильтросного устройства погруженного в воду и образует поток газовых пузырьков.

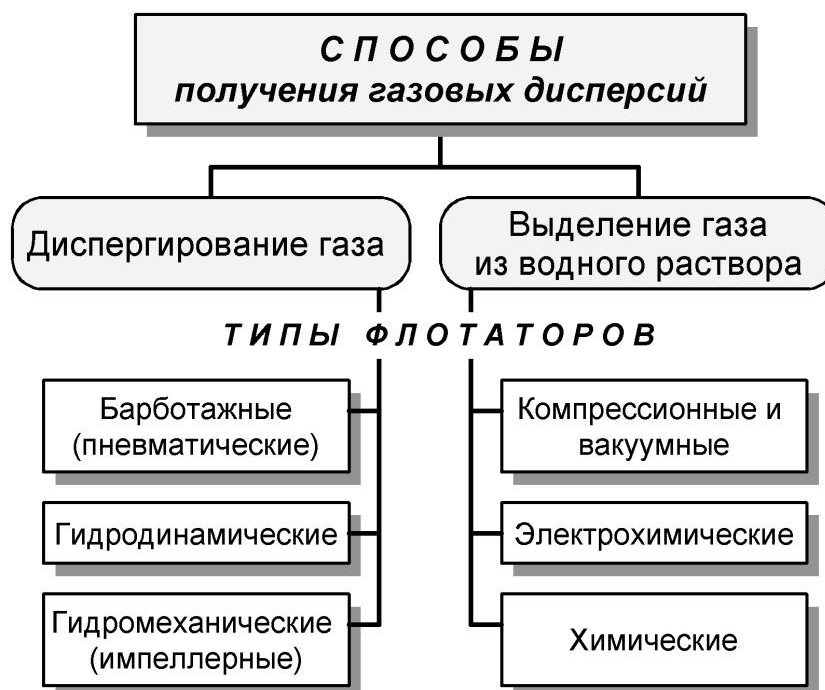


Рис.4.56. Классификация флотационных сооружений по способу получения ДГФ.

Важным достоинством способа является получение развитой межфазной поверхности непосредственно в обрабатываемом объеме воды и высокая интенсивность газовыделения на открытой поверхности флотатора. Схема двухсекционного барботажного флотатора приведена на рис. 4.57.

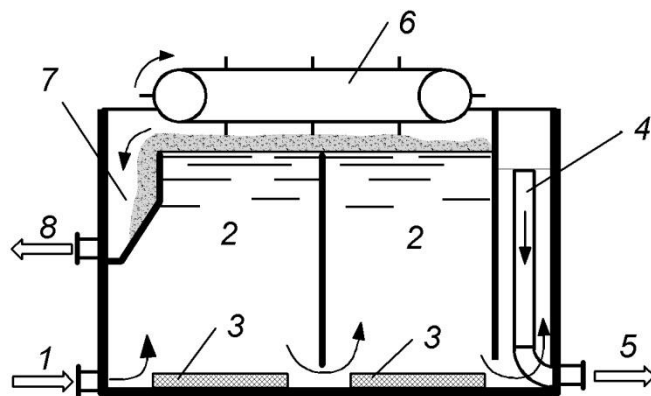


Рис.4.57. Схема барботажного флотационного сооружения:

1 и 5 – подача сточных вод и отведение очищенной воды; 2 – камера флотации; 3 – система получения ДГФ; 4 – устройство, задающее уровень воды в сооружении; 6 – пеносъемное устройство; 7 – пеносборный карман; 8 – отведение флотошлама.

Процессы барботажной флотации и пенного фракционирования наиболее эффективны при обработке сточных вод, содержащих высокие концентрации ПАВ и других загрязняющих веществ, способных к формированию флотокомплексов и формированию устойчивой пены.

Эксплуатационными недостатками этого способа являются зарастание пор фильтров и сложность в подборе и установке пористых элементов, обеспечивающих равномерность распределения газовой дисперсии по горизонтальному сечению флотатора.

Гидродинамический способ получения ДГФ реализуется в виде струйного или эжекционного диспергирования воздуха. Флотационные установки со струйной аэрацией используются для очистки сточных вод, загрязняющие вещества которых способны образовывать достаточно прочные флотокомплексы, так как общая гидродинамическая картина в камере флотации характеризуется

интенсивным движением потоков. Флотационные установки со струйным диспергированием воздуха, как правило, одноступенчатые (рис. 4.58).

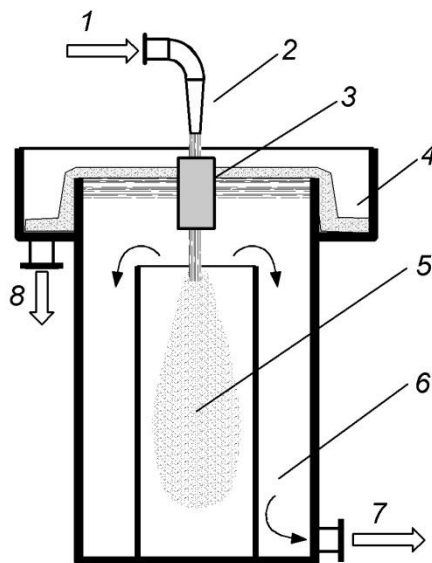


Рис. 4.58. Схема флотационной установки со струйным диспергированием воздуха:

1 и 7 – подача сточных вод и отведение очищенной воды; 2 – сопло; 3 – цилиндрическая вставка; 4 – пеносорбный лоток; 5 – камера флотации; 6 – зона седimentации, 8 – отведение флотошлама.

Для достижения заданных показателей очистки сточных вод используют рецикл обрабатываемой воды.

Эжекционное диспергирование широкого распространения во флотационных технологиях не получило вследствие больших размеров получающихся пузырьков и интенсивного перемешивания обрабатываемой воды.

Средний размер пузырьков ДГФ, получаемых барботажным и гидродинамическими способами лежит в интервале 2...6 мм, что обуславливает их скорость всплытия 0,2...0,4 м/с. При таких скоростях движения поверхности адсорбции степень ее заполнения весьма мала. Поэтому эти типы флотаторов ограниченно применяются для очистки сильно загрязненных сточных вод с достигаемой эффективностью не более 40...60%.

Для механического диспергирования газовой фазы используют различного типа устройства, движущиеся части которых попеременно соприкасаются с жидкой и газовой фазами. Энергичное перемешивание сточной воды во флотационных импеллерных установках создает в ней большое количество мелких вихревых

потоков, что позволяет получить пузырьки определенной величины (рис. 4.59).

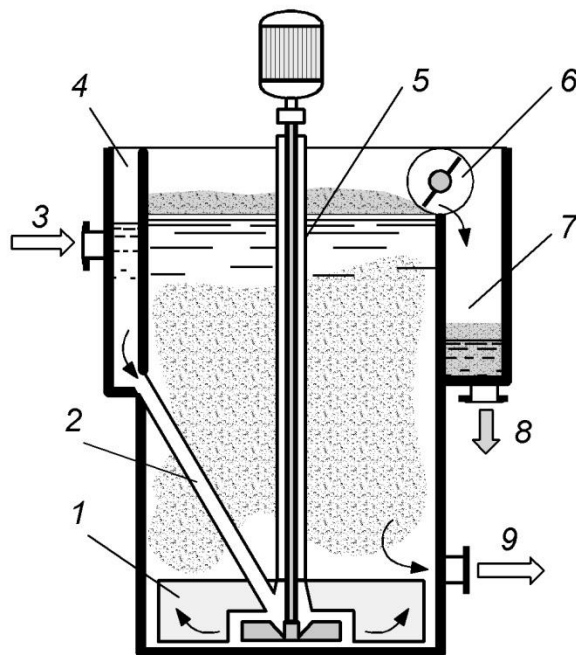


Рис. 4.59. Схема импеллерного флотатора для очистки сточных вод:

1 – спрямляющий аппарат; 2 – подвод воды к импеллеру; 3 и 9 – подача сточных вод и отведение очищенной воды; 4 – распределительный карман сточных вод; 5 – дейдвудная труба с валом привода импеллера; 6 – пеноотъемное устройство; 7 – пеноотборный лоток; 8 – отведение флотошлама.

Процесс диспергирования пузырьков воздуха при механических воздействиях достаточно сложен. Он включает стадии деформирования пузырьков под влиянием касательных или растягивающих напряжений в вытянутые эллипсоиды и последующего их дробления. Размер частиц газовой дисперсии зависит от окружной скорости вращения импеллера, которую принимают 12...15 м/с, продолжительности обработки, солесодержания, температуры и многих других факторов. Увеличению дисперсности газовой эмульсии способствует уменьшение межфазного поверхностного натяжения, при этом также уменьшается удельная работа диспергирования.

Флотация с механическим диспергированием воздуха применяется для удаления загрязняющих веществ, агрегативно устойчивых в условиях интенсивного перемешивания. Вследствие развитой турбулентности во флотационных сооружениях с диспергированием воздуха, имеют ограниченное

применение.

Выделение газов из водного раствора применяется во флотаторах для очистки производственных сточных вод, содержащих очень мелкие частицы загрязняющих веществ, поскольку позволяет получать наиболее высокую степень дисперсности газовой фазы.

Получение ДГФ непосредственно в объеме воды основано на выделении газов из пересыщенных водных растворов. Пересыщенный раствор газа в воде может быть получен или предварительным насыщением или в результате протекания химических, электрохимических, микробиологических и других процессов, сопровождающихся образованием газообразных продуктов реакции.

Компрессионная (вакуумная) флотация имеет широкую область применения, поскольку позволяет регулировать степень пересыщения в соответствии с требуемым эффектом очистки сточных вод при начальной концентрации загрязняющих веществ до 4...5 г/л и более. На рисунке 4.60 приведена схема радиального компрессионного флотатора.

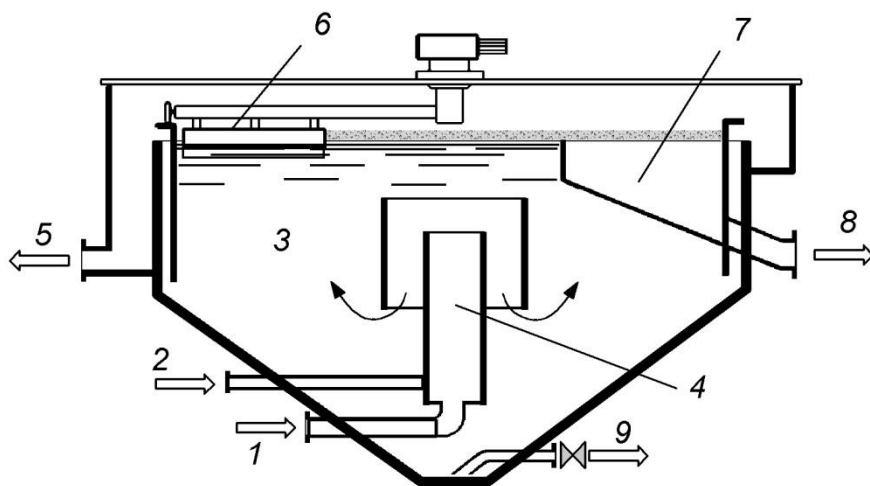


Рис. 4.60. Схема радиального компрессионного флотатора:

1 и 5 – подача сточных вод и отведение очищенной воды; 2 – подача водно-воздушной смеси; 3 – камера флотации; 4 – система распределения водно-воздушной смеси; 6 – пеноуловитель; 7 – пеносорбный карман; 8 – отведение флотошлама; 9 – выпуск осадка.

Наиболее часто компрессионная флотация применяется для очистки сточных вод от ПАВ, волокнистых веществ, нефти, нефтепродуктов, жиров и масел.

Повышение удельной производительности и эффективности извлечения загрязняющих веществ в компрессионных флотаторах, как и в других гравитационных разделителях, может достигаться уменьшением высоты разделения. Применение тонкослойных модулей во флотаторах улучшает отделение как тяжелых примесей, так и всплывающих флотокомплексов.

К недостаткам компрессионных флотаторов, оснащенных традиционными насосами относятся ограниченность удельного расхода воздуха и сложность эксплуатации вспомогательного оборудования для приготовления водно-воздушной смеси.

Электрохимическая флотация основана на электролизе сточных вод с использованием нерастворимых электродов. В межэлектродном пространстве и на поверхностях электродов образуется газовая дисперсия, состоящая из мельчайших пузырьков. В составе электролизных газов большая часть приходится на долю водорода, значительно меньшая - на долю кислорода, хлора, окислов углерода и азота. Скорость газовыделения зависит от силы тока, плотности тока и электрохимического выхода реакции. Схема электрофлотатора приведена на рис. 4.61.

Электрохимический процесс сопровождается многими физико-химическими эффектами, благодаря которым электрофлотация оказывает многофакторное воздействие на систему загрязняющих веществ в обрабатываемой воде, включая ее обеззараживание. Причем происходит оно как вследствие бактерицидного действия окислителей, так и вследствие нарушения внутриклеточного равновесия бактерий при изменении их поверхностного электрического потенциала.

Основными недостатками электрофлотаторов является ограниченность срока службы или высокая стоимость электродов, а также необходимость устройства систем обеспечения взрыво-, пожаро- и химической безопасности при наличии в сточных водах хлоридов.

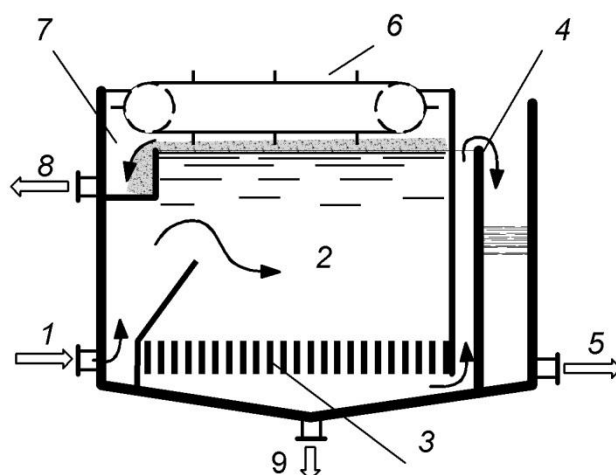


Рис. 4.61. Схема флотатора с электрохимическим получением ДГФ:

1 и 5 – подача сточных вод и отведение очищенной воды; 2 – камера флотации; 3 – блок электродов; 4 – перегородка; 6 – пеноуловитель; 7 – пеносорбный карман; 8 – отведение флотошлама; 9 – выпуск осадка.

Химический способ получения ДГФ во флотаторах основан на химических взаимодействиях (чаще всего в реакциях нейтрализации). Химические флотационные сооружения как самостоятельные не применяются. Это обусловлено тем, что в каждом элементарном объеме воды газовыделение происходит в один акт в ходе химической реакции и, как правило, выделившегося при этом газа недостаточно для полноценного флотационного разделения. По дисперсному составу и гидродинамическим показателям этот вид ДГФ весьма схож с газовой дисперсией, полученной при декомпрессии. В силу этих обстоятельств, камера химической флотации часто встраивается в блок последующих емкостных сооружений и конструктивно мало отличается от одноступенчатой камеры компрессионного флотатора.

Наиболее существенные преимущества процессов с выделением ДГФ из раствора достигаются при сочетании методов коагулирования или сорбции с флотацией, поскольку загрязняющие вещества распределяются между тремя фазами, а вероятность зарождения и роста пузырьков максимальная на дисперсной фазе.

При выборе флотационного аппарата или сооружения необходимо учитывать гидродинамические особенности движения ДГФ, возможность формирования определенного типа флотокомплекса, глубину и скорость очистки воды.

По сравнению с гравитационными разделительными сооружениями, флотаторы обладают рядом преимуществ. Так, замена отстойника на флотаторы позволяет значительно уменьшить габариты сооружений, сократить капитальные затраты и получить менее влажный осадок.

Наряду с положительным опытом применения флотационных процессов, имеют место проблемы, уменьшающие эффективность и область применения флотации. Опыт эксплуатации современных флотационных сооружений, обрабатывающих сточные воды предприятий, показывает, что они не способны поддерживать эффективную работу при снижении пенообразования сточных вод. Это приводит к нестабильной работе всей системы очистки воды.

В процессах флотационной очистки сточных вод образуется пенный продукт, представляющий высококонцентрированную смесь отделенных загрязняющих веществ. В настоящее время существует ряд направлений для решения проблемы обезвреживания флотошламов путем их утилизации или обезвреживания. Наиболее перспективным представляется утилизация ценных компонентов флотошлама и его обезвреживание на объекте его образования. Это направление предполагает утилизацию органической массы и регенерацию минеральных реагентов или сорбентов.

Очистка сточных вод электрохимическими методами.

Электрохимические явления при электролизе воды

При наложении постоянного электрического поля на воду, содержащую дисперсные и растворенные вещества, возникает ряд физических, физико-химических и химических явлений, которые лежат в основе целого комплекса методов, позволяющего практически решать любые технологические задачи

очистки воды. Это обусловлено многофакторностью воздействия постоянного электрического поля и сопровождающих его явлений на все составляющие аквасистем природных и сточных вод. В системах очистки сточных вод наибольшее распространение получили электрохимические процессы, проходящие на поверхностях электродов и в межэлектродном пространстве. Прохождение постоянного электрического тока через растворы электролитов, в соответствии с законами Фарадея, обуславливает химические превращения пропорционально количеству электричества. В зависимости от материала электродов, их потенциала и состава сточных вод, результатом электрохимических реакций может быть газовыделение (электрофлотация), образование ионов металлов (электрокоагулирование), образование сильных окислителей (электродеструкция) и ряд других факторов, приводящих к улучшению качества воды (рис. 4.62).



Рис. 4.62. Процессы и методы электрохимической очистки воды.

В основе всех процессов электрохимической очистки воды лежат окислительно-восстановительные реакции с участием молекул воды.

Электрохимическая флотация

Очистка сточных вод электрофлотацией основана на процессах адсорбционно-пузырькового разделения и подчиняется общим закономерностям

флотационной очистки воды. Однако, электрохимический способ получения ДГФ обладает целым рядом особенностей, положительно отличающих его от других, близких по дисперсному составу образующейся газовой фазы. Процесс сопровождается многими физико-химическими эффектами, благодаря которым при электрофлотационной очистке отмечается многофакторность воздействия на систему загрязняющих веществ сточной воды, включая ее обеззараживание. Причем происходит оно как вследствие бактерицидного действия окислителей, так и вследствие нарушения внутриклеточного равновесия бактерий при изменении их поверхностного электрического потенциала.

Химический состав газовой дисперсии при электрохимическом способе ее получения определяют газообразные продукты реакций, происходящих на электродах, в межэлектродном пространстве и в объеме обрабатываемой воды, а также водяной пар. На долю водорода и кислорода приходится большая часть этих продуктов. Доля других продуктов определяется составом сточных вод, материалом электродов и условиями проведения электролиза. С позиций получения ДГФ для процессов адсорбционно-пузырькового разделения наибольший интерес представляет общий выход электролизных газов и дисперсный состав газовой фазы.

Целенаправленный выбор материалов для изготовления электродов и подбор оптимальной величины плотности тока с учетом величины рН позволяют решить, в данном случае, две важные задачи: получить наименьшие затраты энергии на образование газовой фазы и регулировать ее химический состав.

Конструктивно электродные блоки электрофлотаторов выполняются в виде плоско-параллельных вертикальных или наклонных пластин, горизонтальных сеток, разделенных диэлектрической сеткой, а также различных комбинаций сплошных и сетчатых элементов, изготовленных из токопроводящих материалов не подверженных электрохимическому растворению (рис. 4.63).

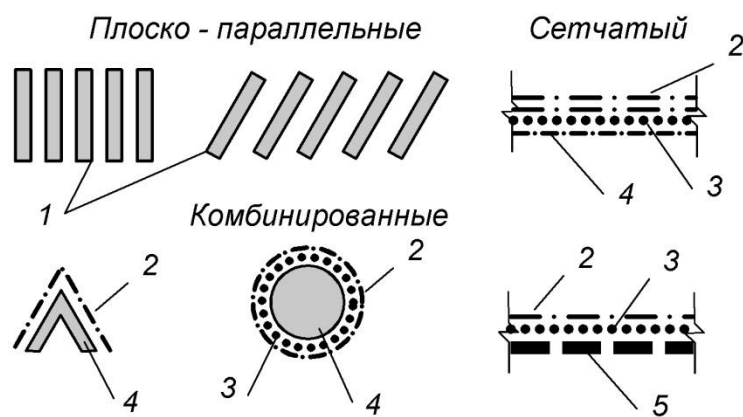


Рис. 4.63. Схемы электродных блоков для электрохимических флотаторов:

1 - сплошной плоскостной электрод; 2 - катодная сетка; 3 - сетка из диэлектрика; 4 - анод;
5 - плоскостной перфорированный анод.

Главными из технологических преимуществ электрофлотаторов состоит в возможности регулирования интенсивности газовыделения в широких пределах, при неизменном объеме обрабатываемой воды, и возможность размещения "генератора" газовой фазы в любой точке флотатора. Среди всех типов флотаторов, в электрохимических формируются наиболее мелкие (от 40 до 200 мкм) фракции пузырьков. При этом по величине удельного расхода газа электрохимический метод приближается к методам диспергирования.

Особенности фракционного и химического составов ДГФ в электрофлотаторах обеспечивают высокую степень извлечения загрязняющих веществ в широком интервале дисперсности от ГДП до ПАВ, нефтепродуктов и гидроксидов металлов.

Электрофлотационные сооружения содержат общие для всех флотаторов узлы, такие как распределенный выпуск сточных вод, поступающих на очистку, флотационную камеру, устройство для регулирования уровня воды во флотационной камере, устройство для сбора и отведения пенного продукта с поверхности флотатора (см. рис. 4.61). Особенности конструктивных решений при проектировании электрофлотаторов обуславливаются конкретными технологическими задачами и показателями очищаемых вод. Благодаря

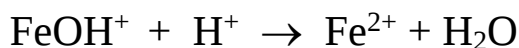
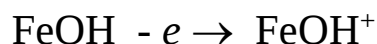
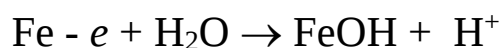
относительной простоте устройства, флотационная камера легко блокируется с другими технологическими ступенями.

Недостатки метода электрофлотации состоят в необходимости постоянного электропитания, относительной сложности изготовления электродного пакета, высокой стоимости электротехнического оборудования. Для размещения электрофлотаторов необходимо сооружение специального помещения во взрывобезопасном исполнении.

Электрохимическое коагулирование

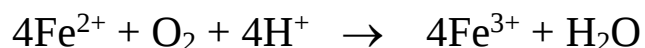
Метод электрохимического коагулирования, также как и метод реагентного коагулирования, обеспечивает дестабилизацию устойчивых дисперсных систем и подготовку их к последующим стадиям отделения от воды. Существенное отличие метода электрохимического коагулирования от реагентного состоит в том, гидроксиды, образующиеся при обработке воды коагулянтами, могут быть получены электрохимическим растворением металла электродов в процессе электролиза воды. В соответствии с электрохимическим процессом, в основном растворяется металл анода. В практике электрокоагулирования получило распространение использование стальных и алюминиевых анодов.

Процесс анодного растворения металлов многостадийный. Поскольку ионы с минимальным зарядом выделяются при меньших значениях электродного потенциала, то при электрохимическом растворении металла первыми будут образовываться ионы низшей валентности. Поэтому при анодной поляризации стального анода будет образовываться преимущественно ион Fe^{2+} :



Электрохимическое выделение ионов железа по массе значительно больше чем алюминия: $\alpha\text{Fe}^{2+} = 1,04 \text{ г/А}\cdot\text{ч}$ и $\alpha\text{Al}^{3+} = 0,336 \text{ г/А}\cdot\text{ч}$, соответственно, что обусловлено значительно большей эквивалентной массой железа. Поскольку

окислительно-восстановительный потенциал железа $\varphi^{\circ}\text{Fe}^{2+}|\text{Fe}^{3+} = +0,77\text{В}$ отрицательнее кислородного потенциала $\varphi^{\circ}\text{O}_2|\text{H}_2\text{O} = +1,23\text{В}$, окисление Fe^{2+} в Fe^{3+} можно осуществить кислородом воздуха при барботажном перемешивании воды:



Широкое распространение электрокоагулирования в практике очистки сточных вод самых разных отраслей обусловлено рядом положительных особенностей процесса. В их числе формирование дисперсии гидроксидов непосредственно в обрабатываемой воде в момент их наибольшей активности, невысокая требовательность к корректировке pH, достаточное простое управление процессом, отсутствие больших доз реагентов, возможность блокирования с другими процессами в одной установке. Исследования структурных свойств оксигидратов, получаемых электрохимическим способом, показали большой запас энергии на их поверхности, чем при химическом получении. Поэтому электрохимическая коагуляция органических примесей сточных вод существенно отличается от реагентной коагуляции.

Принципиально, использование электрохимического коагулирования возможно по двум схемам – прямоточной и циркуляционной. Причем, циркуляция воды может быть организована как по внешнему, так и по внутреннему контурам. Характерная особенность электрохимического коагулирования, которую необходимо учитывать в определении его места в технологической схеме очистки воды, состоит в образовании микродиспергированной газовой фазы одновременно с получением коагулирующих агентов. Поэтому эффективность применения схем будет зависеть от правильности оценки системы загрязняющих веществ и свойств обрабатываемой воды. Например, для вод, содержащих ПАВ и обладающих высокой вспениваемостью, более предпочтительна циркуляционная схема. В то время как для сточных вод с высоким содержанием низкомолекулярных органических примесей – прямоточная.

Типичный состав технологического комплекса для электрохимического коагулирования сточных вод включает оборудование, обеспечивающее подачу воды в заданном режиме, электрокоагулятор, сооружение для отделения дисперсии гидроксидов и загрязняющих веществ, оборудование для обработки осадка (рис.4.64). Кроме этого, в состав комплекса входит источник постоянного тока и контрольно-измерительная система, следящая за технологическими параметрами работы и содержанием водорода в окружающем воздухе.

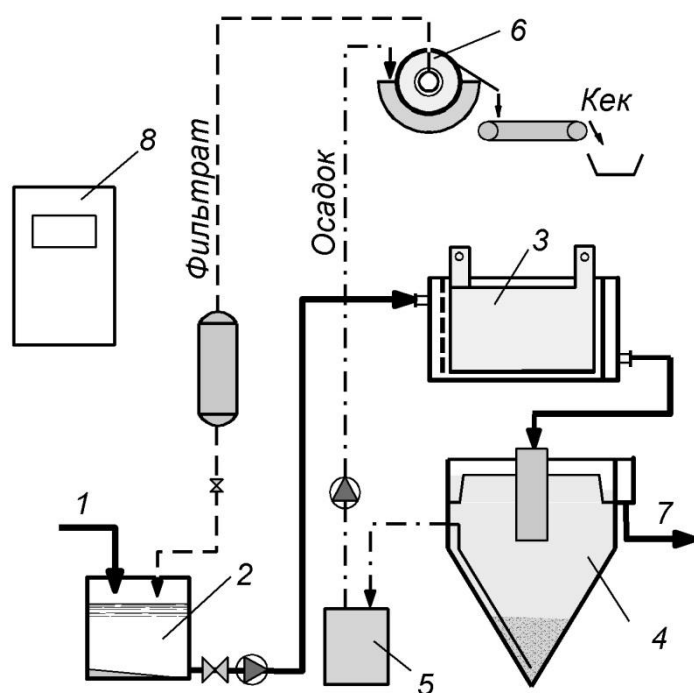


Рис. 4.64. Схема технологического комплекса для электрохимического коагулирования сточных вод:

1, 7 – поступающая и очищенная вода; 2 - резервуар-усреднитель; 3 - электрокоагулятор; 4 - отстойник; 5 - промежуточная емкость осадка; 6 - оборудование для обезвоживания осадка; 8 - выпрямительный агрегат.

Из множества технологических и конструктивных решений по электрокоагулированию, можно выделить наиболее характерные типы аппаратов. Прежде всего, их допустимо определить по взаимосвязи с устройствами отделения дисперсной фазы как *встроенные* и *вынесенные* (периферийные). По направлению потока обрабатываемой воды различают

коагуляторы горизонтальные и вертикальные. По давлению в электродной камере их делят на безнапорные и напорные. Кроме этого существует много разновидностей электрокоагуляторов, отличающихся конструкцией электродных блоков и схемой их поляризации.

Поскольку электрохимическая производительность коагулятора не зависит от продолжительности обработки в нем воды, возможно создание достаточно компактных устройств, встраиваемых в конструкции различных гравитационных разделителей.

В электрокоагулятор вертикального типа, встроенный в горизонтальный отстойник, вода поступает снизу и вместе с гидроксидами и газовой фазой отводится в зону гравитационного разделения (рис. 4.65).

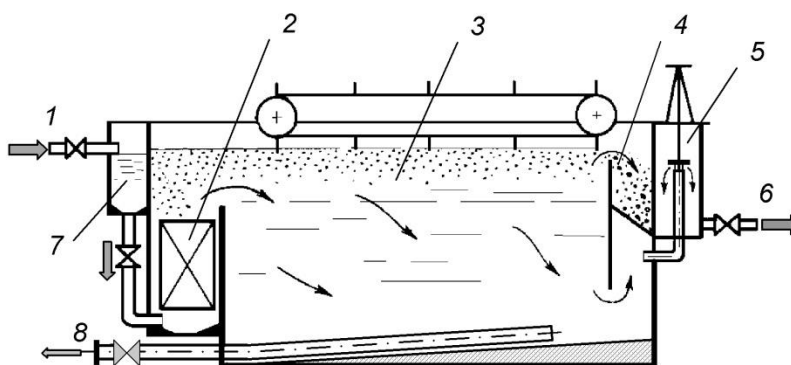


Рис. рис. 4.65. Электрокоагулятор вертикального типа встроенный в отстойник:

1, 6 - поступающая и очищенная вода; 2 - электродный блок коагулятора; 3 - зона флотации и осаждения; 4 - пеносборный желоб; 5 - устройство, задающее уровень воды; 7 - впускная камера; 8 - отвод осадка.

Существует большое количество конструкций электрокоагуляционных аппаратов и сооружений, в которых стадии коагулирования воды и отделения гидроксидных шламов осуществляются в специально организованных камерах общего корпуса. Такой подход к конструированию оборудования для электрохимического коагулирования технологически совершенно правильный, позволяющий наилучшим образом организовать основные стадии процесса.

Электрокоагуляционные установки отличаются компактностью и простотой управления, отсутствием потребности в реагентах, малой чувствительностью к изменениям условий проведения процесса очистки воды (температура, pH среды, присутствие токсичных веществ), получением шлама с хорошими структурно-механическими свойствами. Электрокоагулирование находит применение во многих отраслях промышленности: пищевой, химической, целлюлозно-бумажной, легкой, машиностроительной и многих других.

Применение электрокоагулирования ограничено относительно высокой стоимостью обработки воды этим методом. Однако в ряде случаев оно оправдано специальными требованиями к очищенной воде или к технологическому процессу, а также, когда нежелательно увеличение минерализации обрабатываемой воды.

Основной недостаток метода электрокоагулирования состоит в необходимости регулярной замены износившегося электродного пакета, который относится к нестандартному оборудованию. Поэтому главное направление совершенствования электрокоагуляторов лежит в области разработки конструкций электродных пакетов и систем, оптимизирующих их работу.

Электрохимическая деструкция

Метод электрохимической деструкции применяют при наличии в сточных водах предприятий органических загрязняющих веществ, не способных к биохимическому окислению, токсичных, не представляющих ценность для утилизации, а также при ограниченности места на очистных сооружениях.

Электролиз сточных вод, как метод деструкции органических загрязняющих веществ, включает ряд сопутствующих эффектов. Как известно, окисление веществ происходит в результате потери ими электронов и разрушения химических связей. В данном случае в роли окислителей, отбирающих электроны, могут выступать положительно поляризуемый электрод (анод) и химические радикалы с незавершенной электронной оболочкой. Обязательным условием электролиза должна быть химическая стойкость анода.

Исследования, проведенные в нашей стране и за рубежом, показано, что непосредственно анодное окисление ряда органических загрязняющих веществ оказывается недостаточно эффективным. На долю непосредственно анодного окисления органических примесей приходится 10...15% от их массы. Существенно большая роль в глубокой деструкции загрязняющих веществ воды принадлежит процессам химического взаимодействия с продуктами электролиза. Оценивая ионный состав сточных вод, объективные факторы доступности сильных электролитов, а также затраты электроэнергии на анодное восстановление анионов, выбор источника создания реакционной среды, прежде всего, приходится на хлориды. Это обусловлено существенно более низким по сравнению с кислородом перенапряжением выделения хлора на аноде. Вследствие этого практически все технологии электрохимической деструкции органических загрязняющих веществ осуществляются при достаточно высоком (от 1 до 100 г/л) содержании хлоридов.

Общая схема электрохимической деструкции органических веществ при электролизе сточных вод, включает две стадии процесса:

- анодное выделение хлора и его соединений с кислородом;
- взаимодействие продуктов электролиза с органическими веществами сточных вод.

Одновременно может происходить выделение газообразного кислорода. Однако его количество в зависимости от материала электродов, состава воды и параметров электролиза, составляет от 0,5 до 4%.

Выделяющийся на аноде хлор частично растворяется в анолите. Растворимость хлора уменьшается при увеличении температуры. Хлор в водном растворе подвергается гидролизу с образованием сильной соляной и слабой хлорноватистой кислот.

При обработке щелочных сточных вод, а также, если в анодное пространство попадает некоторое количество щелочи с катодом, происходит нейтрализация полученных при гидролизе кислот и образование диссоциированного иона гипохлорита.

В этом случае на аноде идет совместный разряд ионов ClO^- и Cl^- с образованием ионов хлорноватой кислоты и выделением кислорода по общему суммарному выражению



Кроме этого, в межэлектродном пространстве также могут протекать реакции окисления хлорноватистой кислотой ионов ClO^- до ClO_3^-

Молекулярно-ионная смесь ($\text{Cl}_2 + \text{HClO} + \text{ClO}^- + \text{ClO}_3^-$) называется свободным *активным хлором*. Долевое соотношение в составе смеси зависит от pH воды.

Чем меньше значение pH, тем больше содержание молекулярного хлора.

На рис. 4.66 приведено массовое соотношение основных соединений хлора в зависимости от pH водного раствора.

Процессы деструкции органической части загрязняющих веществ "активным" хлором зависят от структуры и концентрации реагирующих веществ, pH, температуры, наличия катализирующих соединений и происходят по достаточно сложным схемам. В общем виде, наиболее вероятные схемы процессов разложения органических веществ в процессе электролиза следующие.

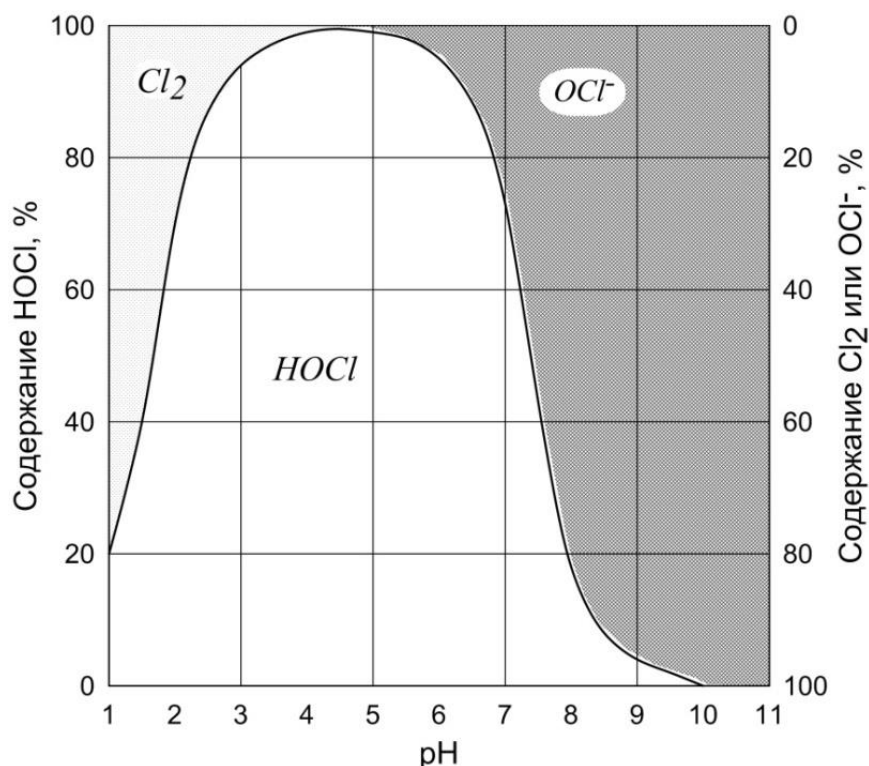
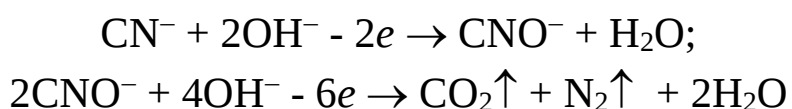
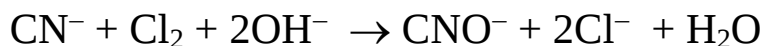


Рис. 4.66. Диаграмма состояния соединений хлора в воде

Деструкция молекул различных органических веществ в процессе электролиза часто сопровождается их полным распадом с образованием углекислого газа, воды, аммиака и некоторых газообразных продуктов. В других случаях происходит частичное окисление органических или неорганических соединений с образованием более простых по составу, а также нетоксичных или малотоксичных продуктов. Например, электрохимическое окисление фенолов идет до малеиновой кислоты, сульфидов - до сульфатов. Анодное окисление цианидов происходит в щелочной среде по двухстадийной схеме:



Введение в сточные воды хлорида натрия для повышения электропроводности и снижения расхода электроэнергии дает дополнительный эффект деструкции цианидов в результате взаимодействия с молекулярным хлором, образующимся при электролизе:



Принципиальная схема процесса очистки сточных вод от цианосодержащих соединений методом электрохимического окисления приведена на рис. 4.67. В этом процессе используют графитовые аноды и стальные катоды.

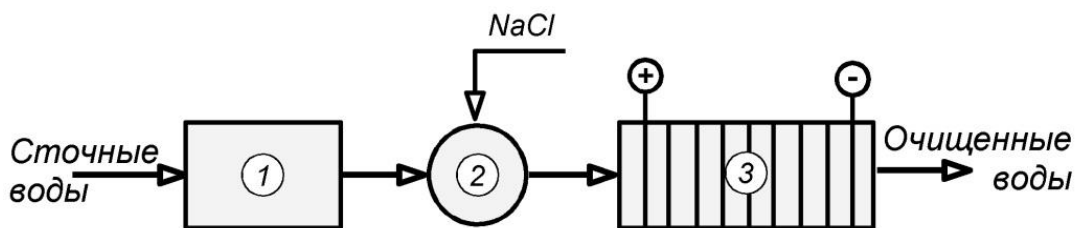


Рис. 4.67. Схема процесса очистки сточных вод от цианидов электролизом:

1 – резервуар-усреднитель; 2 – смеситель; 3 – электролизер.

Наряду с процессами глубокого разрушения органических веществ, вплоть до простых минеральных веществ, также возможно образование продуктов неполной деструкции органических веществ более токсичных, чем исходные загрязняющие вещества. Кислая среда анолита способствует взаимодействию молекулярного хлора с органическими примесями сточных вод вблизи анода с образованием хлорорганических соединений и хлористого водорода.

Такой же процесс протекает с органическими примесями, содержащимися и в графитовых анодах. Возможность образования хлорорганических соединений в обрабатываемой воде относится к основным недостаткам процессов электрохимической деструкции органических загрязняющих веществ.

В электролизерах, предназначенных для электрохимической деструкции органических загрязняющих веществ, в качестве анодов используют различные электролитически нерастворимые материалы: графит, магнетит, диоксиды свинца, марганца и рутения, которые наносят на титановую основу. Катоды изготавливают из молибдена, сплава вольфрама с железом или никелем, из графита, нержавеющей стали и других металлов, покрытых молибденом, вольфрамом или их сплавами.

В настоящее время распространение получили открытые установки с электродами, погруженными в электролизную ванну (рис.4.68) и бескорпусные аппараты «фильтр-прессного» типа (рис.4.69).

Очистку сточных вод с использованием электролизеров применяют для разложения органических веществ при невозможности или нецелесообразности их утилизации и регенерации их растворов.

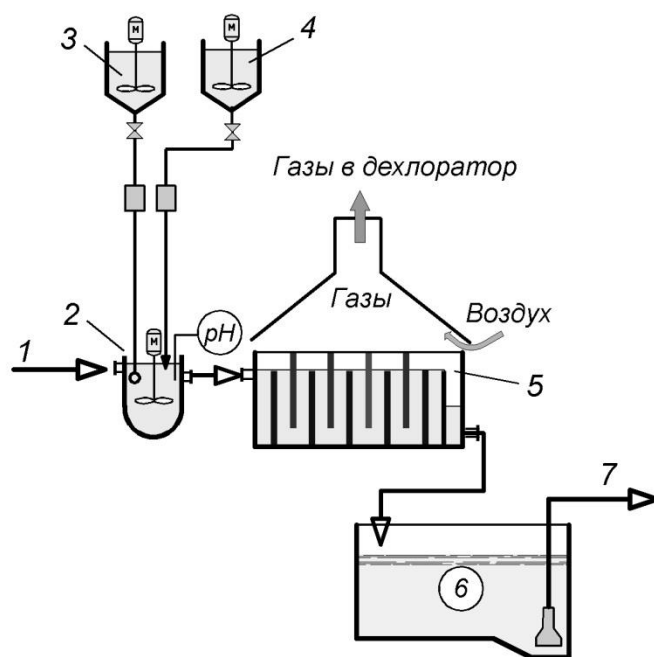


Рис.4.68. Схема установки очистки воды с открытым электролизером:

1, 7 - поступающая и очищенная вода; 2 – смеситель; 3 – приготовление раствора соли; 4 – раствор для корректирования pH; 5 – электролизер; 6 – контактный резервуар.

На основе процессов электролиза разработаны технологии очистки сточных вод от многих видов загрязняющих веществ, включая стойкие органические соединения. Электрохимическая деструкция веществ применяется в процессах очистки сточных вод предприятий легкой промышленности, машиностроения, приборостроения, химической, нефтеперерабатывающей, целлюлозно-бумажной и других отраслей.

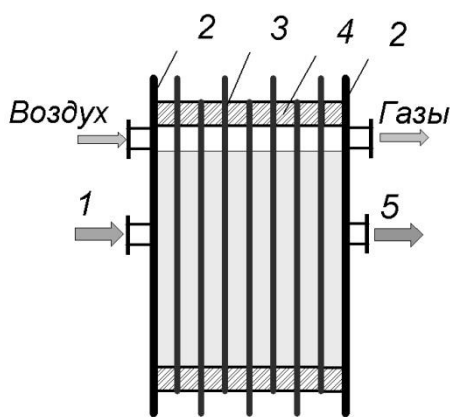


Рис.4.69. Схема бескорпусного электролизера для очистки сточных вод:

1, 5 - поступающая и очищенная вода; 2 – поджимные плиты; 3 – электроды; 4 – диэлектрический уплотнитель.

Вода, очищенная методами электролиза, часто оказывается существенно минерализованной и не может использоваться в повторном или обратном водопотреблении. В связи с этим, электрохимическая деструкция применяется для очистки относительно небольших расходов сточных вод.

К недостаткам электрохимической деструкции загрязняющих веществ в процессе электролиза также относят значительное содержание "активного хлора" в очищенной воде.

4.1.5. Особенности биологической очистки производственных сточных вод

Сточные воды предприятий промышленности и сферы услуг, по составу органических загрязняющих веществ условно можно разделить на две группы.

К первой группе относятся сточные воды, содержащие биологически мягкие вещества, близкие по составу к хозяйственно-бытовым сточным водам. При этом, концентрации загрязняющих веществ могут быть существенно выше, а разнообразие их видов - существенно меньше, чем в хозяйственно-бытовых сточных водах.

Ко второй группе относятся стойкие органические загрязняющие вещества (СОЗ), содержащие остатки специальных технологических растворов и сырья.

В общем потоке сточных вод предприятий могут одновременно находиться загрязняющие вещества обеих групп. Еще одной особенностью сточных вод предприятий является значительная неравномерность (непостоянство) сброса сточных вод, как по расходу, так и по составу и концентрации органических загрязняющих веществ.

В системах очистки сточных вод предприятий, содержащих загрязняющие вещества первой группы, успешно применяют биологические методы и сооружения, во многом аналогичные очистным сооружениям населенных мест. Результаты использования традиционных методов биологической очистки сточных вод второй группы, содержащих СОВ, существенно отличаются.

Принципиально, о возможности и целесообразности биологической очистки производственных сточных вод судят по многим критериям, характеризующим их количество, режим притока, систему загрязнений, условия приема в системы водоотведения, возможность использования и пр.

При общей оценке системы загрязнений учитывают следующие аспекты:

- способность органических загрязнений сточных вод биохимически окисляться, что определяется по соотношению БПК и ХПК;
- концентрацию загрязняющих веществ;
- наличие в сточных водах необходимых для микроорганизмов питательных веществ (азота, фосфора, калия);
- наличие и концентрацию веществ, способных оказывать токсическое действие на микроорганизмы;
- активную реакцию сточных вод.

Многие виды производственных стоков только частично удовлетворяют всем перечисленным условиям биологической очистки и нуждаются в предварительной подготовке к ней.

К основными элементам предварительной очистки сточных вод относятся следующие стадии:

- нейтрализация сточных вод до $pH=6,5 \dots 8,5$;
- отделение грубых нерастворенных и волокнистых примесей;

- удаление жировых и смолоподобных веществ;
- предварительное отделение оседающих и всплывающих загрязнений;
- снижение концентрации ядовитых органических веществ и солей тяжелых металлов до предельно допустимого содержания для биологического процесса.

Важным этапом подготовки производственных сточных вод любого вида к последующей их очистке является наиболее полное извлечение из них ценных примесей. Это позволяет не только собирать ценное сырье, но и понизить общую загрязненность сточных вод.

Многие виды производственных сточных вод содержат недостаточное количество соединений фосфора, азота и калия, представляющих собой *биогенные* вещества, необходимые для нормального развития биоценозов сооружений. Достаточность биогенных элементов (азота и фосфора) в производственных и бытовых сточных вод определяется соотношением: $\text{БПК:N:P} = 100:5:1$.

При недостатке биогенных элементов к производственным сточным водам добавляют бытовые, содержащие их в необходимом количестве. Проводят искусственную подпитку биогенными элементами, добавляя растворы аммиачной селитры, суперфосфата, азотнокислого калия и других соединений. Биогенные растворы готовят и дозируют так же, как на нейтрализационных установках.

Для биологической очистки производственных сточных вод используют те же способы биологической очистки, что и для бытовых сточных вод. Производственные сточные воды по характеру загрязнений весьма разнообразны. Скорости окисления органических загрязнений зависят от состава сточных вод и обычно определяются экспериментально.

Важным этапом подготовки производственных сточных вод любого вида к последующей их очистке является наиболее полное *извлечение из них ценных или утилизируемых примесей*. Это позволяет не только собирать ценное сырье,

снизить затраты на производство, но и уменьшить общую загрязненность сточных вод.

Аэробные биологические очистные сооружения предприятий основаны на тех же процессах и типах биореакторов, что и станции очистки коммунальных сточных вод. Отличие технологических процессов и конструкций биореакторов очистных сооружений предприятий обуславливаются низкой способностью загрязняющих веществ к биохимической деструкции или высокой концентрацией. Интенсификация работы аэробных биореакторов возможна путем повышения содержания активной биомассы и путем увеличения концентрации растворенного кислорода.

Повышение содержания в биореакторе активной биомассы достигается созданием конструкций, способствующих развитию «прикрепленных» биоценозов и различных устройств, уменьшающих вынос ила из биореактора. В настоящее время эти направления получили достаточное развитие.

Существенное увеличение растворенного кислорода в воде открытого биореактора практически невозможно. Это может быть достигнуто при использовании технического кислорода или кислородовоздушной смеси.

Пример использования технического кислорода приведен на схеме окситенка (рис.4.70.).

Технологические показатели работы окситенка на много превосходят соответствующие значения для аэротенков: концентрация растворенного кислорода – 10...12 мг/л; доза ила – 8...10 г/л; окислительная мощность (по БПК_{полн}) – 1,8 кг/(м³·сут); нагрузка на активный ил (по БПК_{полн}) – 175 кг/(г·сут); прирост активного ила (по БПК_{полн}) – 0,2 кг/кг. Основным недостатком окситенков является трудности обеспечения техническим кислородом.

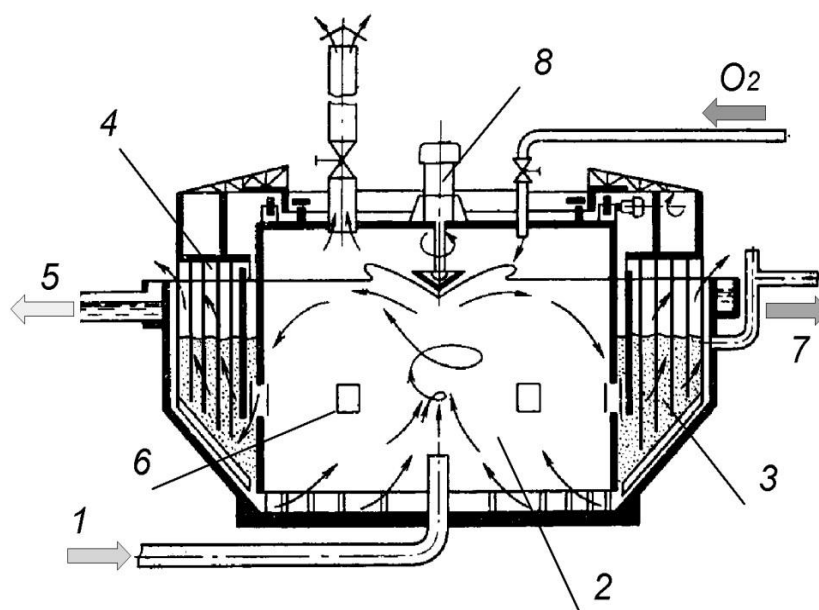


Рис.4.70. Схема комбинированного окситенка:

1, 5 – поступающая и очищенная вода; 2 – зона аэрации; 3 – зона осаждения ила; 4 – стержневые мешалки; 6 – перепускные окна; 7 – отведение избыточного активного ила; 8 – поверхностный аэратор.

Применение аэробных биореакторов для очистки сточных вод предприятий, содержащих высокие концентрации органических веществ, включая СОЗ, как правило, нецелесообразно. Это обусловлено низкими скоростями деструкции многих органических веществ техногенного происхождения, необходимостью разбавления большим количеством малозагрязненных сточных вод и, соответственно, большими затратами.

Анаэробные биологические реакторы применяют для решения проблемы очистки концентрированных сточных вод, содержащих СОЗ. Наиболее известные анаэробные сооружения – метантенки.

Метантенки, предназначенные для очистки сточных вод, конструктивно мало отличаются от сооружений, применяемых для сбраживания осадков. Учитывая меньшую концентрацию твердой фазы в сточных водах по сравнению с осадками, требуется создание условий для достаточно интенсивного перемешивания. Для этого используют внутренние механические мешалки или внешнее перемешивание через насосную станцию метантенков.

Эффективность процесса анаэробного сбраживания весьма высока, однако существенно зависит от состава органических загрязняющих веществ. Поэтому нагрузка на сооружение по БПК_{полн} колеблется от 0,5 до 3,5 кг/(м³·сутки). Удельный выход газа при сбраживании сточных вод составляет 0,5...0,6 м³ на 1 кг «снятой» части БПК_{полн}.

Анаэробные процессы применяются для очистки концентрированных сточных вод предприятий пищевой промышленности (пивоваренных, дрожжевых, сахарных, винокуренных, консервных заводов и мясокомбинатов), предприятий фармацевтической промышленности, фабрик первичной обработки шерсти, заводов синтетических жирных кислот, производств капролактама, синтетических поверхностно-активных веществ.

В настоящее время существует достаточно много вариантов анаэробных биореакторов усовершенствованных конструкций, отличающиеся особенностями технологических процессов очистки сточных вод и организацией движения реагирующих масс.

UASB – *реактор* представляет собой резервуар, в котором организован восходящий поток очищаемой воды. В результате этого в сооружении формируется взвешенный слой анаэробного ила (рис. 4.71).

Биореактор не имеет внутри контактной загрузки и перемешивающих устройств. Поддержание слоя активного ила осуществляется газоилоотделительным устройством, расположенным в верхней части сооружения. Организованное таким образом движение воды, газовой и твердой фаз, обеспечивает флокуляцию твердых частиц и формирование гранулированного ила с высокой седиментационной способностью.

Анаэробные реакторы типа *UASB* обеспечивают хорошие результаты очистки сточных вод с высоким содержанием органических загрязняющих веществ, включая СОЗ.

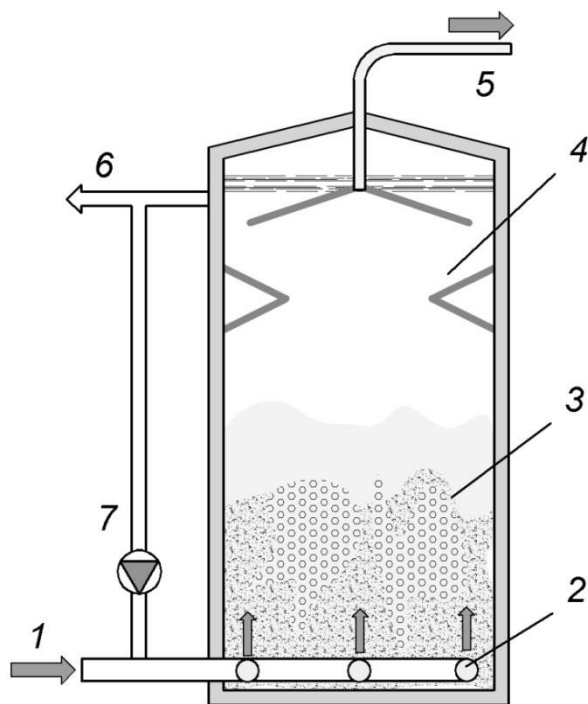


Рис. 4.71. Схема анаэробного биореактора типа UASB:

1, 6 – поступающая и очищенная вода; 2 - распределительная система; 3 – слой биомассы; 4 – газоилоотделительное устройство; 5 – отвод биогаза; 7 – рециркуляция воды.

Они сохраняют работоспособность при непостоянстве подачи и состава сточных вод, устойчивы к недостатку биогенных элементов и присутствию токсикантов в поступающих сточных водах.

Реакторы UASB обладают окислительной мощностью (по ХПК) от 15 до 50 кг/(м³·сут). Продолжительность обработки составляет от 3 до 8 часов. По сравнению с аэробными процессами, прирост биомассы в реакторе в 5...10 раз меньше, а количество отводимого осадка – меньше в 5...8 раз. При этом в 10...15 раз сокращается расход электроэнергии по сравнению с аэробным процессом.

К недостаткам реакторов UASB относят невысокую скорость протекания процессов, малую эффективность удаления соединения азота и фосфора, недостаточно глубокую степень деструкции органических загрязняющих веществ по БПК (60-90%), взрывоопасность и образование сульфидов в очищенной воде.

Преимущество анаэробных процессов состоит также в относительно незначительном образовании избыточной биомассы.

Процессы с использованием анаэробных биореакторов являются весьма эффективными и успешно применяются в составе промышленных установок по очистке сточных вод предприятий пищевой, фармацевтической, спиртовой, целлюлозно-бумажной, химической и других отраслей промышленности. Однако использование этих технологий целесообразно только для наиболее концентрированных потоков сточных вод, например от отдельных производственных процессов

Несмотря на высокую эффективность разложения органических веществ при обработки концентрированных сточных вод, анаэробные биореакторы не обеспечивают глубокую очистку воды. Это обуславливает применение их в качестве первой ступени очистки концентрированных сточных вод с последующей очисткой в аэробных сооружениях на второй ступени. При этом достигается высокая степень деструкции органических веществ, удаление соединений азота, фосфора и серы (рис. 4.72).

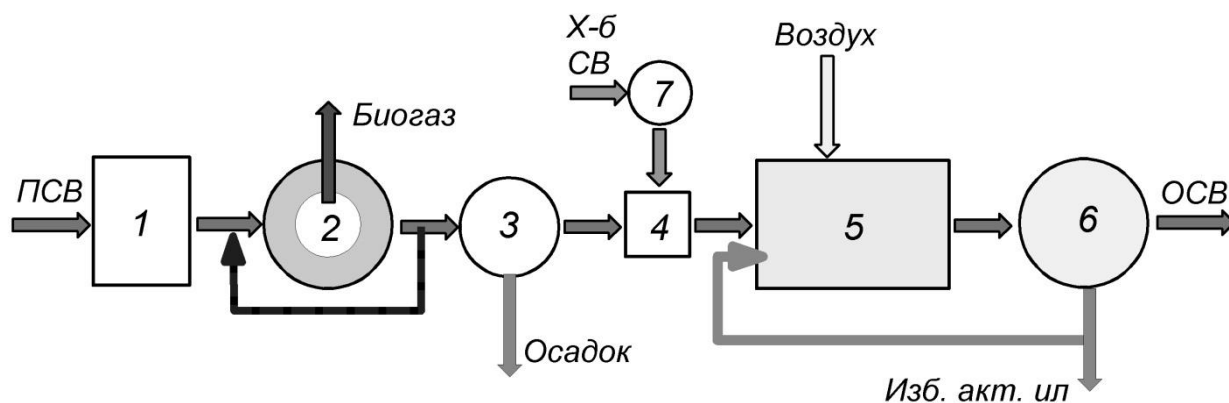


Рис. 4.72. Схема анаэробно - аэробного процесса с использованием UASB реактора:
1 – усреднитель сточных вод; 2 – реактор UASB; 3 – отстойник; 4 – смеситель; 5 – аэротенк-денитрификатор; 6 – отстойник иловой смеси; 7 – накопитель хозяйственно-бытовых сточных вод.

Следует отметить, что применение технологических процессов очистки

сточных вод сочетающих анаэробные и аэробные ступени сопряжено с необходимостью строительства дополнительных вторичных отстойников, а также необходимость перекачивания большого количества возвратного активного ила.

4.3. Оценка коррупционных рисков в производственной деятельности при проектировании систем водоотведения

Оценка коррупционных рисков производится аналогично системам водоснабжения.

Тема 4.2. Направления развития водного хозяйства предприятий различных отраслей промышленности

4.2.1 Комплексный подход к решению задач очистки сточных вод и охраны водных объектов на примерах отраслей промышленности

В современных условиях промышленное предприятие является частью общего экологического пространства населенных мест и территорий. Приоритетным направлением формирования системы водного хозяйства промышленного предприятия является уменьшение его влияния на окружающую среду. Поэтому синтез систем водного хозяйства предприятий должен осуществляться на основе оптимизационного процесса решения комплекса целевых задач.

Проблема негативного влияния предприятий на окружающую водную среду включает ряд аспектов (группу факторов). Все промышленные предприятия в большей или меньшей мере являются потребителями воды. Причем, имеются производства, для которых требования к качеству воды существенно превосходят требования для питьевого водоснабжения. Кроме этого, потребности в воде некоторых предприятий сопоставимы с водопотреблением населенных мест, в которых они расположены, и речным

стоком водоёма, который является источником водоснабжения и основным приемником сточных вод.

Исследования состава сточных вод, поступающих на коммунальные очистные сооружения, а также отводимых по системам водостоков, показывают тенденцию постоянного увеличения в них доли загрязняющих веществ техногенного происхождения. Большое разнообразие современных химических материалов используемых в производстве и выпускаемых промышленностью обладают высокой стойкостью к действию природных факторов дезинтеграции, таких, как синтетические поверхностно-активные вещества (ПАВ), галоген- и металлоорганические соединения, продукты органического синтеза и многие другие.

Современные технологии защиты окружающей среды в области предотвращения загрязнения водных объектов сточными водами городов и населенных мест базируются на процессах биохимической деструкции органических компонентов. Сооружения полной биологической очистки, выполняя важную барьерную роль в предотвращении загрязнения водоёмов, во многих случаях не могут обеспечить необходимую степень задержания загрязняющих веществ, по своим свойствам, относящимся к токсическим или биологически стойким веществам.

Усугубляется эта проблема, когда сточные воды предприятия непосредственно сбрасываются в водоём.

Комплексное решение проблемы уменьшения вредного воздействия промышленных предприятий на окружающую водную среду может быть достигнуто уменьшением количества воды, забираемой из источника, уменьшением количества сточных вод, уменьшением масс загрязняющих веществ в очищенной воде и отводимых от очистных сооружений концентратов.

Минимизация потребления воды из природных источников и сброса сточных вод. Это достигается условным уменьшением количества потребляемой воды на единицу выпускаемой продукции за счет рационального

водопотребления. Например, в результате применения противоточных промывочных операций, повторного использования воды в процессах с меньшими ограничениями ее качества, а также применения локальной очистки воды для оборотных водных систем. Необходимо отметить, что только уменьшение технологического водопотребления без изменения технологии обращения с химическими препаратами приводит к увеличению концентрации загрязняющих веществ в сточных водах. Уменьшение потребления воды возможно также в результате использования очищенных сточных вод в производстве, при условии соответствия их показателей технологическим требованиям.

Минимизация сброса загрязняющих веществ со сточными водами. Одним из путей решения проблемы по этому направлению является повышения эффективности очистки производственных сточных вод непосредственно на территории предприятия. Однако, это приводит к трансформации проблемы – увеличение эффективности очистки воды создает проблему увеличения количества концентратов извлеченных загрязняющих веществ. Другой путь состоит в уменьшении массы потребляемых технологических реагентов и материалов в производстве и, соответственно, уменьшении их отхода со сточными водами. Это достигается применением процессов селективной очистки технологических растворов и возвратом их в производство. Кроме уменьшения массы загрязняющих веществ поступающих в сточные воды, процессы селективной очистки растворов уменьшают и количество концентратов очистных сооружений.

Выпуск сточных вод, неиспользуемых в системах предприятия, может быть осуществлен только в централизованные системы водоотведения населенных мест или в водный объект.

Отведение сточных вод промышленных предприятий в централизованные системы водоотведения населенных мест

Условия приема сточных вод предприятий в централизованные системы водоотведения регламентируются Федеральным законодательством и региональными правилами. Отведение промышленных сточных в системы канализации населенных мест осуществляется на основании договора водоотведения между предприятием и организацией водопроводно-канализационного хозяйства в соответствии с типовыми договорами, утверждаемыми Правительством Российской Федерации. Поступление производственных сточных вод в систему водоотведения населенных мест не должно нарушать работу сетей, не вызывать разрушение конструкций, не усложнять техническую эксплуатацию системы, не ухудшать санитарно-химические условия отведения воды и не нарушать технологический режим работы очистных сооружений. На основании этого, в целях предотвращения негативного воздействия на работу централизованных систем водоотведения, установлены общие требования по максимальным допустимым значениям нормативных показателей общих свойств и концентраций загрязняющих веществ в сточных водах, отводимых от предприятий (таблица 4.2.1). Промышленная структура населенного места, особенности системы водоотведения, состояние водных объектов могут обуславливать различие региональных требований по максимальным допустимым значениям нормативных показателей, что отражается в договоре по приему сточных вод с организацией, осуществляющей водоотведение для каждого конкретного предприятия.

Таблица 4.2.1

Максимальные допустимые значения нормативных показателей общих свойств сточных вод и концентраций загрязняющих веществ в сточных водах для приема в системы водоотведения

№	Наименование вещества (показателя)	Единица измерения	Максимальное допустимое значение показателя и (или) концентрации (по валовому содержанию в натуральной пробе сточных вод)
1	2	3	4

I. Максимальные допустимые значения нормативных показателей общих свойств сточных вод и концентраций загрязняющих веществ в сточных водах, установленные в целях предотвращения негативного воздействия на работу централизованных общесплавных и бытовых систем водоотведения, а также централизованных комбинированных систем водоотведения (применительно к сбросу в общесплавные и бытовые системы водоотведения)

1	Взвешенные вещества	мг/дм ³	300
2	БПК ₅	мг/дм ³	300 (500)
3	ХПК	мг/дм ³	500 (700)
4	Азот общий	мг/дм ³	50
5	Фосфор общий	мг/дм ³	12
6	Нефтепродукты	мг/дм ³	10
7	Хлор и хлорамины	мг/дм ³	5
8	Соотношение ХПК:БПК ₅	-	2,5
9	Фенолы (сумма)	мг/дм ³	5
10	Сульфиды (H ₂ S+S ²⁻)	мг/дм ³	1,5
11	Сульфаты	мг/дм ³	1000
12	Хлориды	мг/дм ³	1000
13	Алюминий	мг/дм ³	5
14	Железо	мг/дм ³	5
15	Марганец	мг/дм ³	1
16.	Медь	мг/дм ³	1
17.	Цинк	мг/дм ³	1
18.	Хром общий	мг/дм ³	0,5
19.	Хром шестивалентный	мг/дм ³	0,05 (0,1)
20.	Никель	мг/дм ³	0,25 (0,5)
21.	Кадмий	мг/дм ³	0,015 (0,1)

22.	Свинец	мг/дм ³	0,25
23.	Мышьяк	мг/дм ³	0,05 (0,1)
24.	Ртуть	мг/дм ³	0,005
25.	Водородный показатель (рН)	единиц	6 - 9
26.	Температура	°С	+40
27.	Жиры	мг/дм ³	50
28.	Летучие органические соединения (ЛОС) (в том числе толуол, бензол, ацетон, метанол, бутанол, пропанол, их изомеры и алкилпроизводные по сумме ЛОС)	мг/дм ³	20
29.	СПАВ неионогенные	мг/дм ³	10
30.	СПАВ анионные	мг/дм ³	10
31.	Полихлорированные бифенилы (сумма ПХБ)	мг/дм ³	0,001
II. Максимальные допустимые значения нормативных показателей общих свойств сточных вод и концентраций загрязняющих веществ в сточных водах, установленные в целях предотвращения негативного воздействия на работу централизованных ливневых систем водоотведения, а также централизованных комбинированных систем водоотведения (применительно к сбросу в ливневые системы водоотведения)			
32.	Взвешенные вещества	мг/л	300
33.	БПК ₅	мг/л	30
34.	Азот аммонийный	мг/л	2
35.	Нефтепродукты	мг/л	8
36.	Сульфиды	мг/л	1,5
37.	Сульфаты	мг/л	500
38.	Хлориды	мг/л	1000
39.	Водородный показатель (рН)	единиц	6-9
40.	Температура	°С	+40

Кроме нормируемых показателей, установлен перечень веществ, материалов, отходов и сточных вод, запрещенных к сбросу в централизованные системы водоотведения населенных мест (таблица 4.2.2).

Таблица 4.2...2

Перечень веществ, материалов, отходов и сточных вод, запрещенных к сбросу в централизованные системы водоотведения

Вещества, способные образовывать в централизованной системе водоотведения взрывоопасные, токсичные и (или) горючие газы, органические растворители, горючие и взрывоопасные вещества (нефть, бензин, керосин, ацетон и др.) в количествах, превышающих допустимые концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, допущенных к сбросу в централизованную систему водоотведения.
Синтетические и натуральные смолы, масла, лакокрасочные материалы, продукты и отходы нефтепереработки, органического синтеза, смазочно-охлаждающие жидкости, содержимое средств и систем огнетушения.
Растворы кислот с $pH < 4,5$ и щелочей с $pH > 12,0$.
Дурно пахнущие и другие летучие вещества в количестве, приводящем к загрязнению атмосферы рабочей зоны в канализационных насосных станциях, в других производственных помещениях системы коммунальной канализации, на территории очистных сооружений, сверх установленных для атмосферы рабочей зоны ПДК.
Радиоактивные вещества свыше предельно допустимого уровня безопасного содержания в окружающей среде, вещества, которые не могут быть задержаны в технологическом процессе очистки сточных вод очистными сооружениями системы централизованного водоотведения, обладающие повышенной токсичностью, способностью накапливаться в организме человека, обладающие отдаленными биологическими эффектами и (или) образующие опасные вещества при трансформации в воде и в организмах человека и животных, в том числе моно- и полициклические, хлорорганические фосфорорганические, азоторганические и сероорганические вещества, биологически жесткие поверхностно-активные вещества, ядохимикаты, сильнодействующие ядовитые вещества в концентрациях, превышающей более чем в 4 раза ПДК, установленную для этих веществ для водных объектов, медицинские отходы классов Б, В, Г, эпидемиологически опасные бактериальные и вирусные загрязнения.
Концентрированные маточные растворы и кубовые остатки, гальванические растворы (электролиты) как исходные, так и отработанные, осадки (шламы) локальных очистных сооружений, осадки отстойников,

ловушек, фильтров, отходы очистки воздуха, осадки станций технической водоподготовки, в том числе котельных, теплоэлектростанций, ионообменные смолы, активированный уголь, концентрированные растворы регенерации систем водоподготовки, химические реактивы и реагенты.
Любые твердые отходы скотобоен и переработки мяса, каныга, цельная кровь, отходы обработки шкур и кож, отходы животноводства, звероводства и птицеводства, включая фекальные.
Строительные материалы, мусор, грунт, золу, шлак, окалину, известь, цемент и другие вяжущие вещества, стекло, пылевидные частицы обработки металлов, стекла, камня, растительные остатки и отходы (листва, трава, древесные отходы, плодоовощные отходы).
Волокнистые материалы (натуральные, искусственные или синтетические волокна, в том числе волос, шерсть), тара, упаковочные материалы и их элементы, металлическую стружку, опилки, окалину, синтетические материалы (полимерные пленки, гранулы, пылевидные частицы).
Биологическая масса пищевых производств, фармацевтических производств и других биотехнологических процессов, пищевая продукция как годная, так неликвидная, сырье для ее производства, сыворотка творожная и сырная, барда спиртовая и дрожжевая, глютен и замочная вода (на крахмалопаточных производствах), пивная хмелевая дробина.
Минеральные включения гидравлической крупностью оседания более 2 мм/с, вещества (включения) гидравлической крупностью всплывания более 20 мм, любые неизмельченные предметы и материалы крупнее 2 см, любые сточные воды с цветностью более 150 единиц по хром-кобальтовой шкале.
Сточные воды с температурой +80°С и выше.

Сброс сточных вод промышленных предприятий в городскую систему водоотведения должен производиться равномерно в течение суток. Залповые сбросы не допускаются.

Обеспечение охраны водных объектов при выпуске в них сточных вод промышленных предприятий

В соответствии с Водным кодексом РФ и другими нормативными и правовыми актами, к водным объектам относятся участки водотоков, моря или их отдельные части (проливы, заливы, в том числе бухты, лиманы), водоёмы

(озера, пруды, обводненные карьеры, водохранилища) либо их части, а также болота. Отведение сточных вод в водный объект, является его загрязнением, независимо от содержания в них веществ относительно фоновых концентраций. Для предприятий, сбрасывающих сточные воды в водные объекты, устанавливаются нормативы предельно допустимых сбросов веществ (ПДС), которые утверждаются специально уполномоченными органами по охране окружающей природной среды.

На основании Федерального закона «Об охране окружающей среды» за загрязнение вод и прилегающих к предприятию территорий взимается плата. Расчет платежей за негативное воздействие на водные объекты производится исходя из количества сбросов загрязняющих веществ со сточными водами.

Критерии оценки воздействия сточных вод основываются на предельно допустимых нормах воздействия загрязняющих веществ и микроорганизмов на водные объекты, рассчитываемых в *«Проекте нормативно допустимых сбросов»* (НДС) индивидуально для каждого предприятия.

Цель этого документа - предотвращение превышения предельных значений концентраций загрязняющих веществ, как по отдельным выпускам, так и для предприятия в целом. Проект нормативов допустимых сбросов – является обязательным документом для разработки всеми предприятиями, которые в ходе своей деятельности осуществляют сбросы сточных вод в водные объекты.

Если сбросы сточных вод осуществляются в пределах допустимых значений рассчитанных в проекте НДС, то и платежи взимаются по базовым тарифам. Если же сброс осуществляется в соответствии с временно согласованными нормативами, то сумма платежей увеличивается в 5 раз. Отсутствие разработанного и согласованного проекта НДС увеличивает плату за негативное воздействие на окружающую среду в 25 раз.

ГОСТом Р 56828.12-2016 Наилучшие доступные технологии. Классификация водных объектов для технологического нормирования сбросов сточных вод централизованных систем водоотведения поселений (ГОСТ Р

от 25 октября 2016 года №56828.12-2016) определены водные объекты, в которые возможен сброс сточных вод, подразделяются на объекты водопользования и объекты рыбохозяйственного значения.

К *первой категории водопользования* относятся водные объекты или их участки, которые используются или могут быть использованы в качестве источника питьевого и хозяйственно-бытового водопользования, а также для водоснабжения предприятий пищевой промышленности.

Ко *второй категории водопользования* относятся водные объекты или их участки, которые используются или могут быть использованы для рекреационного водопользования. Требования к качеству воды, установленные для второй категории водопользования, распространяются также на все участки водных объектов, находящихся в черте населенных мест.

Качество воды водных объектов водопользования должно соответствовать требованиям, приведенным в таблице 4.2.3.

Таблица 4.2..3

Общие требования к составу и свойствам воды водных объектов в контрольных створах и местах питьевого, хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования

Показатели	Категории водопользования	
	Для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также для водоснабжения пищевых предприятий	Для рекреационного водопользования, а также в черте населенных мест
Взвешенные вещества*	При сбросе сточных вод, производстве работ на водном объекте и в прибрежной зоне содержание взвешенных веществ в контрольном створе (пункте) не должно увеличиваться по сравнению с естественными условиями более чем на	
	0,25 мг/дм ³	0,75 мг/дм ³
	Для водных объектов, содержащих в межень более 30 мг/дм ³ природных взвешенных веществ, допускается увеличение их содержания в воде в пределах 5%. Взвеси со	

	скоростью выпадения более 0,4 мм/с для проточных водоёмов и более 0,2 мм/с для водохранилищ к спуску запрещаются	
Плавающие примеси	На поверхности воды не должны обнаруживаться пленки нефтепродуктов, масел, жиров и скопление других примесей	
Окраска	Не должна обнаруживаться в столбике	
	20 см	10 см
Запахи	Вода не должна приобретать запахи интенсивностью более 2 баллов, обнаруживаемые:	
	непосредственно или при последующем хлорировании или других способах обработки	непосредственно
Температура	Летняя температура воды в результате сброса сточных вод не должна повышаться более чем на 3°C по сравнению со среднемесячной температурой воды самого жаркого месяца года за последние 10 лет	
Водородный показатель (рН)	Не должен выходить за пределы 6,5 - 8,5	
Минерализация воды	Не более 1000 мг/дм ³ , в т.ч.:	
	хлоридов – 350 мг/дм ³ ;	
	сульфатов - 500 мг/дм ³	
Растворенный кислород	Не должен быть менее 4 мг/дм ³ в любой период года, в пробе, отобранной до 12 часов дня.	
Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	Не должно превышать при температуре 20°C	
	2 мг O ₂ /дм ³	4 мг O ₂ /дм ³
Химическое потребление кислорода (бихроматная окисляемость), ХПК	Не должно превышать:	
	15 мг O ₂ /дм ³	30 мг O ₂ /дм ³
Химические вещества	Не должны содержаться в воде водных объектов в концентрациях, превышающих ПДК или ОДУ	
Возбудители кишечных инфекций	Вода не должна содержать возбудителей кишечных инфекций	
Жизнеспособные яйца гельминтов (аскарид, власоглав, токсокар, фасциол), онкосферы тениид и жизнеспособные	Не должны содержаться в 25 л воды	

цисты патогенных кишечных простейших		
Термотолерантные колиформные бактерии**	Не более 100 КОЕ/100 мл**	Не более 100 КОЕ/100 мл
Общие колиформные бактерии**	Не более	
	1000 КОЕ/100 мл**	500КОЕ/100мл
Колифаги**	Не более	
	10 БОЕ/100 мл**	10 БОЕ/100 мл
Суммарная объемная активность радионуклидов при совместном присутствии***	Сумма (A_i / Y_{Bi}) ≤ 1	

Примечания:

* Содержание в воде взвешенных веществ неприродного происхождения (хлопья гидроксидов металлов, образующихся при обработке сточных вод, частички асбеста, стекловолна, базальта, капрона, лавсана и т.д.) не допускается.

** Для централизованного водоснабжения; при нецентрализованном питьевом водоснабжении вода подлежит обеззараживанию.

*** В случае превышения указанных уровней радиоактивного загрязнения контролируемой воды проводится дополнительный контроль радионуклидного загрязнения в соответствии с действующими нормами радиационной безопасности;

A_i - удельная активность i -го радионуклида в воде;

Y_{Bi} - соответствующий уровень вмешательства для i -го радионуклида (приложение П-2 НРБ-99).

Содержание химических веществ в воде этих водных объектов не должно превышать предельно допустимые концентрации веществ.

К категории *рыбохозяйственного значения* относятся водные объекты, которые используются или могут быть использованы для добычи (вылова) водных биоресурсов. Водные объекты рыбохозяйственного значения, в свою очередь, подразделяются на категории: «высшая», «первая» и «вторая».

Высшая категория устанавливается на основании данных государственного мониторинга водных биоресурсов для водных объектов рыбохозяйственного значения, которые используются или могут быть использованы для добычи (вылова) особо ценных и ценных видов водных биоресурсов или являются местами их размножения, зимовки, массового нагула, путями миграций, искусственного воспроизводства.

Первая категория устанавливается на основании данных государственного мониторинга водных биоресурсов для водных объектов

рыбохозяйственного значения, которые используются для добычи (вылова) водных биоресурсов, не относящихся к особо ценным и ценным видам, и являются местами их размножения, зимовки, массового нагула, искусственного воспроизводства, путями миграций.

Вторая категория устанавливается для водных объектов рыбохозяйственного значения, которые могут быть использованы для добычи (вылова) водных биоресурсов, не относящихся к особо ценным и ценным видам.

В соответствии с категорией водного объекта рыбохозяйственного значения установлены нормативы качества воды, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в воде. Основные показатели нормативов качества воды для категорий водных объектов рыбохозяйственного значения приведены в таблице 4.2.4.

Таблица 4.2..4

Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения

Показатели качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения	Категории водного объекта рыбохозяйственного значения	
	высшая и первая	вторая
Взвешенные вещества	При сбросе возвратных (сточных) вод конкретным водопользователем, при производстве работ на водном объекте и в прибрежной зоне содержание взвешенных веществ в контрольном створе (пункте) не должно увеличиваться по сравнению с естественными условиями более чем на:	
	0,25 мг/дм ³	0,75 мг/дм ³
	В водных объектах рыбохозяйственного значения при содержании в межень более 30 мг/дм ³ природных взвешенных веществ допускается увеличение содержания их в воде в пределах 5%. Возвратные (сточные) воды, содержащие взвешенные вещества со скоростью осаждения более 0,4 мм/с, запрещается сбрасывать в водотоки, при скорости осаждения более 0,2 мм/с - в водоёмы	

Плавающие примеси (вещества)	На поверхности воды водных объектов рыбохозяйственного значения в зоне антропогенного воздействия не должны обнаруживаться пленки нефтепродуктов, масел, жиров и скопления других примесей	
Температура	Температура воды не должна повышаться под влиянием хозяйственной деятельности (в том числе, при сбросе сточных вод) по сравнению с естественной температурой водного объекта более чем на 5°C, с общим повышением температуры не более чем до 20°C летом и 5°C зимой для водных объектов, где обитают холодолюбивые рыбы (лососевые и сиговые) и не более чем до 28°C летом и 8°C зимой в остальных случаях. В местах нерестилищ налима запрещается повышать температуру воды зимой более чем на 2°C	
Водородный показатель (рН)	Должен соответствовать фоновому значению показателя для воды водного объекта рыбохозяйственного значения	
Растворенный кислород	Содержание растворенного кислорода не должно опускаться ниже 6,0 мг/дм ³ под влиянием хозяйственной деятельности (в том числе, при сбросе сточных вод) Содержание растворенного кислорода в зимний (подледный) период не должно опускаться ниже (в зимний период подледный)	
	6,0 мг/дм ³	4,0 мг/дм ³
	В летний (открытый) период во всех водных объектах должен быть не менее 6 мг/дм ³	
Биохимическое потребление кислорода за 5 суток БПК ₅	При температуре 20°C под влиянием хозяйственной деятельности (в том числе, при сбросе сточных вод) не должно превышать	
	2,1 мг/дм ³	2,1 мг/дм ³
	При температуре 20°C под влиянием хозяйственной деятельности (в том числе, при сбросе сточных вод) не должно превышать	
Биохимическое потребление кислорода БПК _{полн}	3,0 мг/дм ³	3,0 мг/дм ³
	Если в зимний период содержание растворенного кислорода в водных объектах высшей и первой категории снижается до 6,0 мг/дм ³ , а в водных объектах второй категории до 4 мг/дм ³ , то можно допустить сброс в них только тех сточных вод, которые не изменяют БПК воды водного объекта	

Токсичность воды	Вода водных объектов рыбохозяйственного значения в местах сброса сточных вод не должна оказывать острого токсического действия на тест-объекты. Вода водного объекта в контрольном створе не должна оказывать хронического токсического действия на тест-объекты
------------------	--

В основе расчета нормативов допустимых сбросов веществ (НДС) лежит уравнение баланса нормативного состояния водного объекта, составленное с учетом его категории, фоновое состояние и влияния сброса сточных вод на изменение в нём качества воды:

$$aQC_{\phi} + qC_{\text{ндс}} \leq (aQ+q)C_{\text{пдк}} \quad (4.2.1)$$

где a – показатель смешения, определяемый по формуле В.А.Фролова и И.Д.Родзиллера;

Q – расход воды в водном объекте, м³/с;

C_{ϕ} – фоновая величина показателя (вещества) в воде водного объекта, г/м³;

$C_{\text{пдк}}$ – норматив предельно-допустимой величина показателя в контрольном створе водного объекта, г/м³;

q – расход сточных вод, сбрасываемых в водный объект, м³/с;

$C_{\text{ндс}}$ – норматив допустимого сброса показателя в очищенных сточных водах, г/м³;

Фоновая величина лимитирующих показателей в воде водного объекта определяется в точке контроля выше по течению створа сброса сточных вод (рисунок 4.2.1).

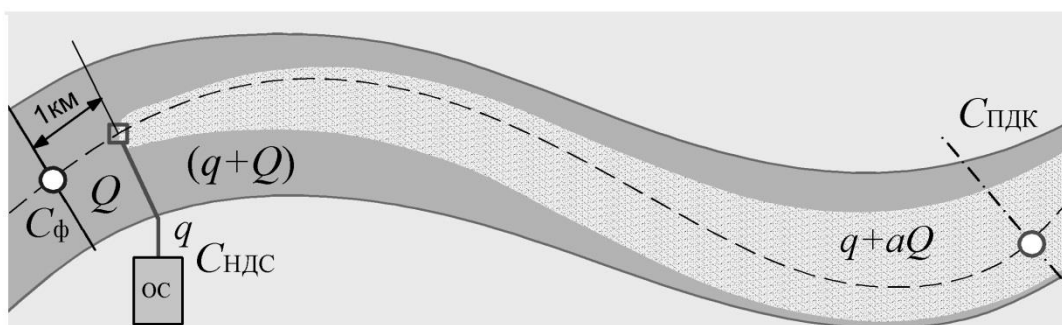


Рис. 4.2.1. Схема нормативного состояния водоёма при выпуске в него очищенных сточных вод

Контрольный створ, в котором должны быть обеспечены величины лимитирующих показателей не более соответствующих ПДК устанавливается на расстоянии не более 500 м от створа сброса сточных вод.

Величины нормативно-допустимых сбросов загрязняющих веществ без учета ассимилирующей способности водного объекта (по консервативным показателям) находят из УМБ нормативного состояния водного объекта:

$$C_{\text{ндс}} \leq C_{\text{пдк}} (aQ + q)/q - aQC_{\text{ф}}/q \quad (4.2.2)$$

Откуда

$$C_{\text{ндс}} \leq \frac{C_{\text{пдк}} (aQ + q) - C_{\text{ф}} aQ}{q} \quad (4.2.3)$$

При наличии в сточных водах загрязняющих веществ, содержащихся в воде водного объекта на уровне ПДК, процессы разбавления в расчетах НДС не должны учитываться.

В случае присутствия в воде водного объекта двух и более веществ 1 и 2 классов опасности, характеризующихся однонаправленным механизмом токсического действия, сумма отношений концентраций каждого из них к соответствующим ПДК не должна превышать единицу:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{\text{пдк}}^i} \leq 1 \quad (4.2.4)$$

где C_i - концентрация i -го вещества, из числа n , обнаруживаемых в воде водного объекта;

$C_{\text{пдк}}^i$ - величины ПДК этих же веществ.

Откуда нормативы допустимого сброса для этой группы загрязняющих веществ устанавливаются по лимитирующему признаку вредного воздействия (ЛПВ):

$$C_{\text{ндс}} \leq C_{\text{пдк}}^{\text{lim}} \left(1 - \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{\text{пдк}}^i} \right) \quad (4.2.5)$$

где $C_{\text{пдк}}^{\text{lim}}$ - величина ПДК по ЛПВ.

Сброс сточных вод в водный объект не должен вызывать повышение в нём температуры на величину не более установленной для соответствующей категории водоёма:

$$T_{\text{ндс}} = (aQ/q+1)\Delta T + T_{\text{ф}} \quad (4.2.6)$$

где ΔT - нормативно допустимое увеличение температуры воды в водном объекте, °С;

$T_{\text{ф}}$ – фоновая температуры воды в водном объекте, °С.

Создание новых конструкционных материалов, синтез синтетических веществ, обладающих повышенной стойкостью к воздействию факторов внешней среды обуславливает присутствие в сточных водах промышленных предприятий значительное количество трудноокисляемых и стойких органических веществ (СОВ), значительно усложняющих технологические процессы их очистки.

Решение проблемы сокращения массы СОВ, поступающих в окружающую среду со сточными водами предприятий, возможно при комплексном подходе, основанном на развитии двух направлений.

1. Сокращение массы СОВ, поступающих в природные водоемы с очищенными сточными водами.

2. Создание систем рационального использования воды и обращения с химическими материалами в производственных процессах.

Первое направление предполагает применение высокоэффективных процессов и оборудования для извлечения трудноокисляемых и стойких органических соединений из сточных вод предприятий.

Состав технологических процессов в зависимости от особенностей формирования и показателей сточных вод разных отраслей производства,

может включать различные сочетания разделительных и деструктирующих и методов обработки воды (рисунок 4.2.2.).

Схема 1: Предварительное отделение COB

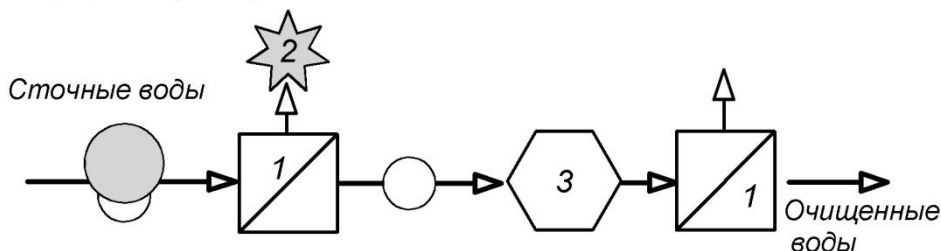


Схема 2: Нарушение агрегативной устойчивости COB

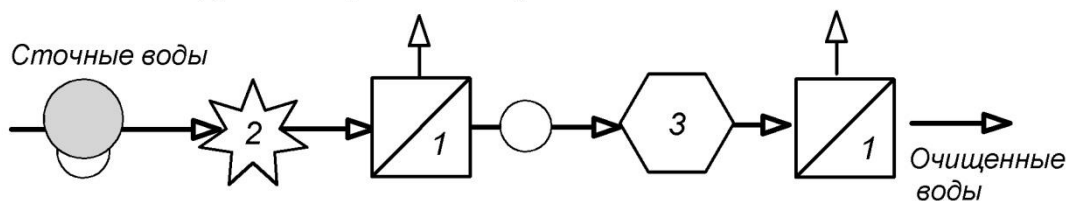


Схема 3: Частичное расщепление COB на биоокисляемые вещества

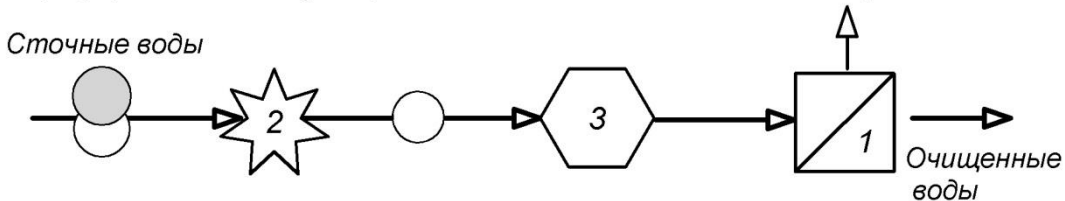


Схема 4: Деструкция и извлечение остаточных COB

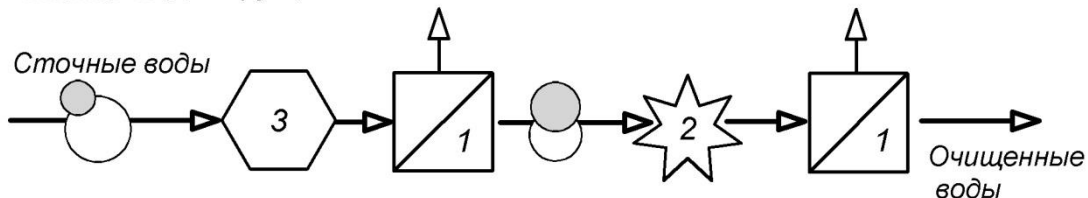
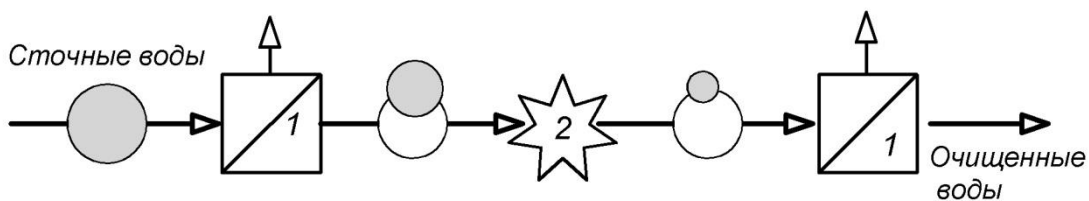


Схема 5: Селективный разделительно-деструктивный процесс удаления COB



 - трудноокисляемые и стойкие органические вещества

Рис. 4.2.2. Принципиальные схемы сочетания разделительных и деструктирующих методов в составе комбинированных процессов очистки производственных сточных вод, содержащих трудноокисляемые и стойкие органические вещества:

1 – процессы извлечения грубодисперсных загрязняющих веществ или биомассы; 2 – процессы, приводящие к глубокому расщеплению СОВ; 3 – процессы биологической деструкции загрязняющих веществ.

Высокое содержание в сточных водах трудноокисляемых и СОВ, селективное отделение которых нецелесообразно в силу неподходящего для утилизации состава, в сочетании с биологически расщепляемыми веществами создает предпосылки применения технологических процессов по схемам 1 и 2.

Первые ступени в них предназначены для глубокого извлечения СОВ (схема 1) или разрушения агрегативной устойчивости (схема 2), после чего сточные воды могут быть эффективно очищены с использованием биологических реакторов в сочетании с отделителями биомассы. Эти схемы могут быть эффективно использованы в системе очистки производственных сильно загрязненных сточных вод предприятий легкой промышленности, использующих СОВ в виде технологических растворов в основном производстве.

В схеме 3 принято последовательное использование "жесткого" деструктирующего процесса для предварительной обработки и более "мягкого" процесса биологической деструкции на последующей. Это необходимо для расщепления нестабильных органических веществ с последующим отделением дисперсной фазы на заключительной стадии очистки сточных вод.

Процесс очистки воды, осуществленный по данной схеме, позволяет эффективно удалять СОВ, например, ПАВ, синтетические красители и т.п., продукты частичной деструкции которых являются биологически расщепляемыми соединениями. Эта схема предпочтительна для очистки сточных вод, содержащих примерно равные доли биоокисляемых и стойких органических веществ. Например, для сточных вод предприятий, использующих СОВ для вспомогательных целей. Это характерно для отработанных смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) предприятий металлообработки.

Технологически процесс очистки воды по схеме 4 целесообразно формировать, когда в систему водоотведения населенных мест поступает большое количество сточных вод, в которых основная масса загрязняющих веществ относится к биологически расщепляемым, но при этом возможно накопление в обрабатываемой воде СОВ. В этом случае деструктирующая ступень должна осуществлять практически полную минерализацию СОВ. По данной схеме целесообразно осуществлять очистку сточных вод, приближающихся по составу к городским.

По схеме 5 может быть организован технологический процесс очистки сточных вод, в которых загрязняющие вещества представляют остатки технологических растворов разнообразных реагентов в разном массовом соотношении. Первая разделительная ступень в этой схеме может обеспечить условия их вторичного использования или утилизации. Этот процесс эффективно используется в системе рекуперативной очистки концентрированных моющих растворов, широко применяемых во многих производственных процессах различных отраслей промышленности.

Сочетания разделительных и деструктирующих процессов очистки сточных вод, приведенные на схемах, не исчерпывают всех возможных вариантов, но отражают подход к разработке технологических последовательностей, обеспечивающих минимизацию абсолютной массы СОВ, поступающих в водоемы со сточными водами.

Принципиальные положения выбора технологического процесса очистки сточных вод, содержащих СОВ, состоят в следующем:

- наиболее полная очистка сточных вод, содержащих значительные количества биорезистентных соединений, может быть достигнута путем функционального сочетания разделительных и деструктирующих процессов воздействия на загрязняющие вещества;
- распределение функциональных нагрузок в пределах технологической последовательности обработки воды должно определяться физико-химическими и биохимическими свойствами системы загрязняющих веществ;

- приоритет в технологии очистки воды принадлежит разделительным процессам, обеспечивающим реальное уменьшение в ней массы загрязняющих веществ. Деструктирующие методы очистки сточных вод целесообразно применять на стадии предварительной подготовки воды для нарушения агрегативной устойчивости, преодоления химической или биологической стабильности загрязняющих веществ, на завершающих стадиях ее обработки и обеззараживания, когда общая масса СОВ достаточно мала. Кроме этого, при обработке концентрированных сточных вод и отходов очистки воды для предотвращения образования больших объемов осадков и шламов.

Второе направление предполагает минимизацию массы сбрасываемых СОВ со сточными водами путем возврата их в производство. Достигается это применением систем повторного, многократного и противоточного использования технологических растворов и промывных вод в процессах производства, вследствие более полного использования реагентов и воды и большей эффективности очистки концентрированных сточных вод.

Существенный эффект обеспечивает применение в этих системах принципа селективной очистки сточных вод (рисунок 4.2.3).

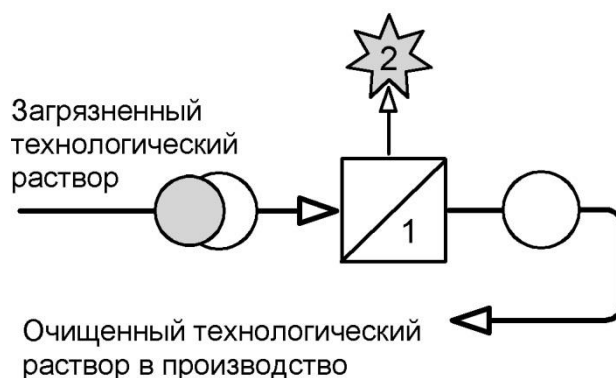


Рис. 4.2.3. Принципиальная схема селективной очистки сточных вод (технологических растворов, содержащих СОВ):

1 – процессы отделения "мешающих" загрязняющих веществ;

2 - процессы регенерации, утилизации или обезвреживания загрязняющих веществ.

В отличие от обычных очистных комплексов, оборудование селективной очистки предназначена для извлечения из технологических растворов и сточных вод накапливающихся загрязняющих веществ, препятствующих их многократному или повторному использованию. При этом основная масса технологических реагентов остается в воде, возвращаемой в производство.

Селективной очисткой может быть обеспечено значительное сокращение сброса специальных химических препаратов, значительная доля которых представляют собой СОВ, в систему водоотведения, а также экономия этих реагентов в основном производстве. В наибольшей мере это проявляется в случае применения установок селективной очистки для обеспечения многократного использования отработанных технологических растворов. Применительно к высокомолекулярным СОВ, в качестве разделительных процессов для селективной очистки целесообразно применение флотационных технологий.

Научное и технологическое обоснование сочетания процессов "жесткой" деструкции и селективного разделения в дополнение к действующим биологическим очистным сооружениям позволяет значительно повысить эффективность очистки сточных вод перед выпуском их в водоем. Поскольку биологически стойкие органические примеси являются одним из видов загрязняющих веществ, наиболее трудно поддающихся удалению из воды, процессы и оборудование, предназначенные для этих целей, могут быть успешно применены для практического решения значительно более широкого круга технологических задач очистки сточных вод и защиты окружающей среды.