ГЛАВА 7. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД И ВЫПУСК В ВОДОЕМ.

7.1. Обеззараживание сточных вод

Обеззараживание сточных вод имеет целью уничтожение оставшихся в них патогенных бактерий и снижение эпидемиологической опасности при сбросе в поверхностные водоемы. Запрещается сброс в водные объекты сточных вод, содержащих возбудителей инфекционных заболеваний. Стоки опасные в эпидемиологическом отношении, допустимо сбрасывать в водоем только после их очистки и обеззараживания. При этом количество лактозоположительных кишечных палочек (индекс ЛКП) в сточной воде не должен превышать 1000 кл/дм^3.

Из опыта очистки сточных вод известно, что при первичном отстаивании общее количество бактерий снижается на 30…40%, а после ступени биологической очистки (на биофильтрах или аэротенках) – на 90…95%. Это доказывает необходимость применения специальных методов обеззараживания очищенных сточных вод для обеспечения их эпидемиологической безопасности.

Применяемые в настоящее время методы обеззараживания воды можно разделить на две основные группы: химические и физические. К химическим методам относятся окислительные и олигодинамические (воздействие ионами благородных металлов). В качестве окислителей используют хлор, диоксид хлора, озон, марганцовокислый калий, перекись водорода, гипохлориты натрия и кальция. К физическим методам – термическая обработка, ультрафиолетовое облучение, воздействие ультразвуком, облучение ускоренными электронами и γ-лучами. Выбор метода обеззараживания осуществляется на основании данных о расходе и качестве очищенных сточных вод, условиях поставки и хранения реагентов и условий энергоснабжения, наличия особых требований.

Обеззараживание воды хлорированием.

Наибольшее распространение получил метод хлорирования сточных вод. Бактерицидный эффект хлора и его производных объясняется взаимодействием хлорноватистой кислоты и гипохлорит иона с веществами, входящими в состав протоплазмы клеток бактерий, в результате чего последние гибнут. Однако имеются отдельные виды вирусов устойчивые к воздействию хлора. Под активным хлором понимают растворенный молекулярный хлор и его соединения — диоксид хлора, хлорамины, органические хлорамины, гипохлориты и хлораты. При этом различают активный свободный хлор (молекулярный хлор, хлорноватистую кислоту и гипохлорит ион) и активный связанный хлор, входящий в состав хлораминов. Бактерицидное действие свободного хлора значительно выше, чем связанного. Хлор вводят в сточную воду в виде растворенного хлор-газа или других веществ образующих в воде активный хлор. Количество активного хлора, вводимого на единицу объема сточной воды, называется дозой хлора и выражается в граммах на 1 м^3 (г/м^3).

В соответствии со СНиП 2.04.03-85 расчетную дозу активного хлора, обеспечивающую бактерицидный эффект, следует принимать: после механической очистки сточных вод - 10 г/м^3; после неполной биологической очистки - 5 г/м^3; после полной биологической очистки - 3 г/м^3. При этом уровень остаточного хлора должен быть не менее 1,5 г/м^3, а период не менее 30 мин. Хлор, добавленный к сточной воде, должен быть тщательно перемешан с ней.

Блок обеззараживания очистных сооружений состоит из установки для получения раствора содержащего активный хлор (хлорной воды), смесителя хлорной воды с обрабатываемой водой и контактного резервуара, обеспечивающего необходимый период обеззараживания.

Хлорирование жидким хлором. Заводы поставляют хлор в баллонах массой до 100 кг и в контейнерах массой до 3000 кг, а также в железнодорожных цистернах вместимо-

стью 48 т, для предотвращения испарения жидкий хлор хранится под давлением 0,6...0,8 МПа.

При растворении хлора в воде, происходит его гидролиз:

$$C1_2 + H_2O \leftrightarrow HClO + HCl$$

Часть хлорноватистой кислоты HClO диссоциирует с образованием гипохлорит иона OCl^- , который и является обеззараживающим веществом.

Хлорирование жидким хлором является наиболее широко применяемым методом обеззараживания воды на средних и крупных водоочистных станциях.

Ввиду малой растворимости жидкого хлора поступающий реагент предварительно испаряют. Затем хлор-газ растворяют в малом количестве воды, полученную хлорную воду перемешивают с обрабатываемой водой. Дозировка хлора происходит в фазе газообразного вещества, соответствующие газодозаторы называются хлораторами. Хлораторы разделяются на две основные группы: напорные и вакуумные. Вакуумные хлораторы обеспечивают большую безопасность работы персонала в хлораторной. Применяются хлораторы пропорционального и постоянного расхода, а также автоматические хлораторы, поддерживающие в воде заданную концентрацию остаточного хлора. В нашей стране наибольшее распространение получили вакуумные хлораторы постоянного расхода типа "ЛОНИИ-СТО" (рис.7.1.).

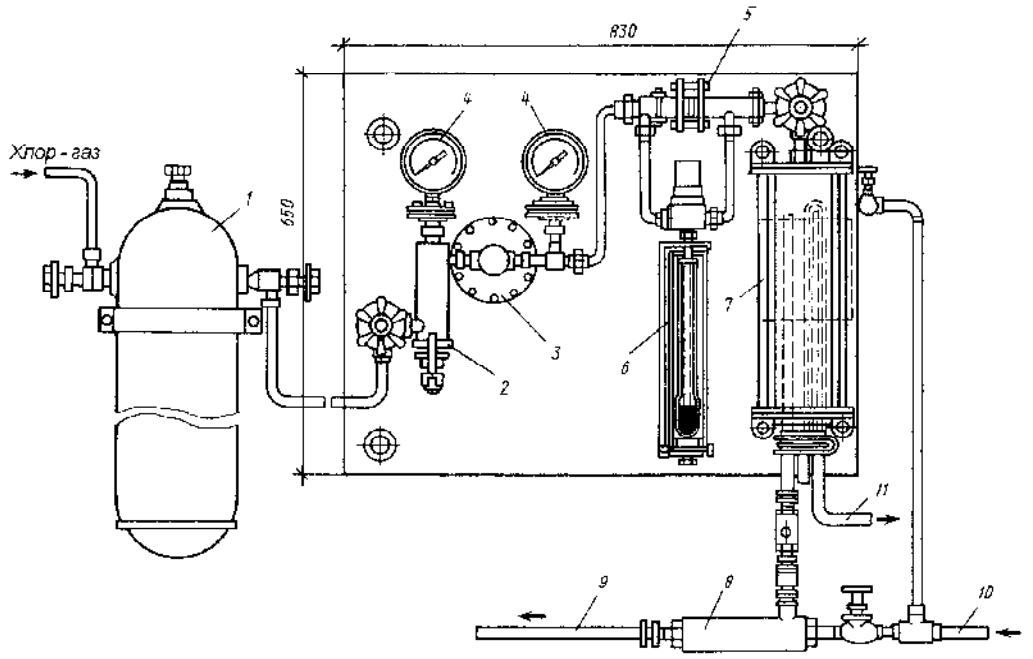

Рис. 7.1. Хлоратор ЛОНИИ-СТО:

1- промежуточный баллон; 2- фильтр; 3- редуктор; 4- манометры; 5- измерительная диафрагма; 6- ротаметр; 7- смеситель; 8- эжектор; 9- трубопровод хлорной воды; 10- водопроводная вода; 11- перелив и опорожнение.

Его аналогом, выпускаемым в настоящее время, является хлоратор АХВ-1000, производительностью по хлору от 2 до 12 кг/ч.

Приготовление раствора хлора в воде (хлорную воду) осуществляют в хлораторных (рис. 7.2). Для испарения хлора баллон или контейнер устанавливают на весы, по показаниям которых определяют количество жидкого хлора. Приготовление хлорной воды происходит в смесителе. Необходимый вакуум создается эжектором, при помощи которого хлорная вода подается в смеситель, где смешивается с обрабатываемой водой.

Хлорное хозяйство располагается в отдельном здании, где сблокированы склад хлора, испарительная, хлораторная и вспомогательные помещения.

Расходный склад хлора отделен от остальных помещений глухой стеной без проемов. Емкость расходного склада хлора не должна превышать 100 т. Жидкий хлор хранится

на складе в баллонах или контейнерах, при суточном расходе хлора более 1 т - в танках вместимостью до 50 т с поставкой хлора в железнодорожных цистернах.

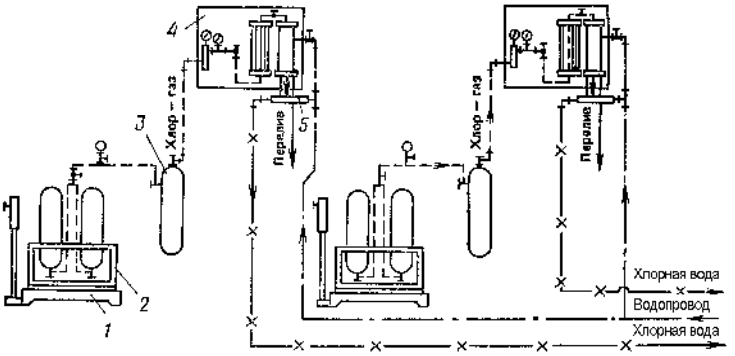

Рис. 7.2. Технологическая схема хлораторной:

1- весы; 2- стойка с баллонами; 3- грязеуловитель (промежуточный баллон); 4- хлоратор; 5- эжектор.

Склад размещают в наземном или полузаглубленном здании с двумя выходами с противоположных сторон здания. В помещении склада необходимо иметь емкость с нейтрализационным раствором сульфита натрия для быстрого погружения в нее аварийных контейнеров или баллонов.

В хлораторных устанавливают дозаторы хлора с необходимой арматурой и трубопроводами. Помещение хлораторной должно быть отделено от других помещений глухой стеной без проемов, и иметь два выхода, причем один из них через тамбур. Все двери должны открываться наружу, в помещении должна быть принудительная вытяжная вентиляция с забором воздуха у пола.

Трубопроводы хлорной воды выполняются из коррозионно-стойких материалов. В помещении трубопровод устанавливают в каналах в полу или на кронштейнах, вне здания — в подземных каналах или футлярах из коррозионно-стойких труб.

Использование порошкообразных реагентов. На малых станциях и водоочистных установках целесообразно отказаться от использования жидкого хлора и применить твердые, порошкообразные вещества — хлорную известь $CaCl_2O$ и гипохлорит кальция $Ca(ClO)_2$. Эти вещества менее опасны в обращении, процесс их подготовки и подачи значительно проще — практически аналогичен применению коагулянта.

Товарный продукт $CaCl_2O$ или $Ca(ClO)_2$ растворяют в растворном баке с механическим перемешиванием. Количество баков не менее двух. Затем раствор разбавляют в расходном баке до концентрации 0,5...1 % и подают в воду дозаторами растворов и суспензий.

Учитывая коррозионную активность раствора, баки следует изготовлять из дерева, пластмассы или железобетона, из коррозионно-стойких материалов (полиэтилен или винипласт) должны быть также трубопроводы и арматура.

Хлорирование воды гипохлоритом натрия. На очистных станциях, где суточный расход хлора не превышает 50 кг/сут, а транспортировка, хранение и подготовка токсичного хлора связаны с трудностями, можно для хлорирования воды использовать гипохлорит натрия NaClO. Данный реагент получают на месте применения, используя установки электролиза раствора поваренной соли (рис. 7.3).

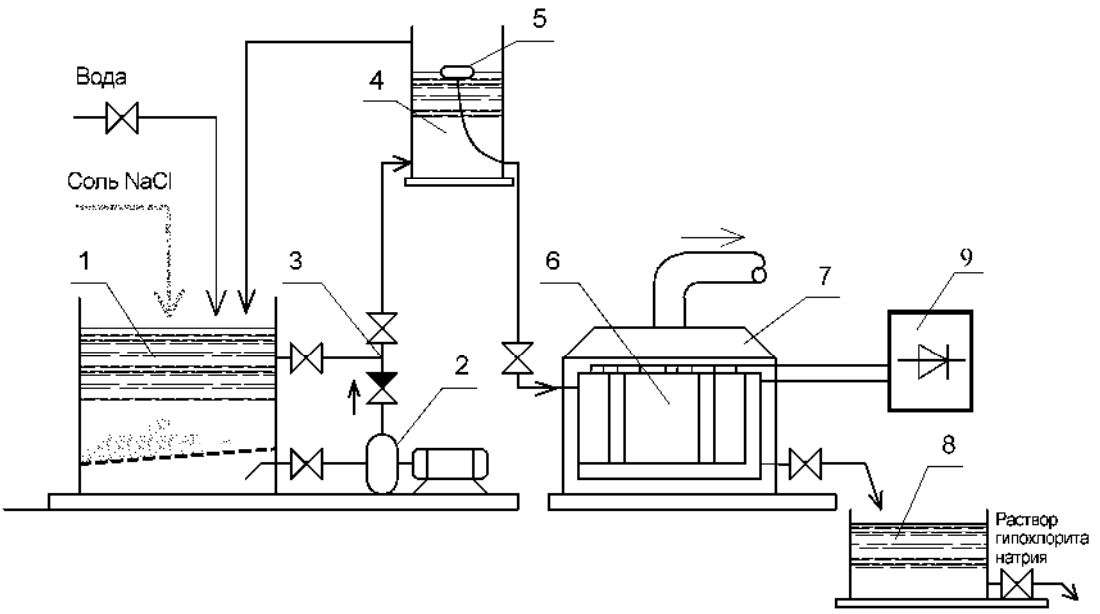

Рис. 7.3. Схема установки для получения гипохлорита натрия электролизом:

1- растворный бак; 2- насос; 3- распределительный тройник; 4- рабочий бак; 5- поплавок дозатор; 6- электролизер; 7- зонт вытяжной вентиляции; 8- бак-накопитель гипохлорита натрия; 9- источник постоянного тока.

В растворном баке приготавливается раствор NaCl, близкий к насыщенному — 200…310 г/л. Для перемешивания применяют механические устройства, циркуляционные насосы или сжатый воздух.

Электролизеры могут быть проточного или непроточного типа, наиболее широко используют последние. Они представляют собой ванну с установленным там пакетом пластинчатых электродов. Электроды, как правило, графитовые, присоединенные к источнику постоянного тока.

В электролизной ванне соль и вода находятся в диссоциированном состоянии. При подачи тока на электроды на аноде будет происходить:

окисление хлоридов $2Cl^- - 2e \rightarrow Cl_2$,

затем их гидролиз $C1_2 + H_2O \rightarrow HClO + HCl$.

На катоде выделяется газ H_2 и образуется едкий натр:

$Na^+ + OH^- \rightarrow NaOH$.

В результате реакции хлорноватистой кислоты с едким натром образуется гипохлорит:

$NaOH + HClO \rightarrow NaClO + H_2O$.

По завершении процесса электролиза, ванна опорожняется и заполняется новой порцией раствора NaCl. При работе электролизера необходимо свести к минимуму распад образованного NaClO. Для этого следует процесс электролиза провести при низкой температуре и большой плотности тока на аноде.

На станции необходимо иметь не менее трех электролизеров, которые устанавливают в сухом отапливаемом помещении. В электролизной ванне должны быть трубопроводы для водяного охлаждения, над электролизером устанавливают зонт вытяжной вентиляции для удаления выделяющихся газов. Высотное расположение электролизера должно обеспечить поступление раствора NaCIO в бак-накопитель самотеком. Бак-накопитель размещают в вентилируемом помещении, дозировку раствора гипохлорита в воду производят эжектором, насосом-дозатором или другим устройством для подачи растворов и суспензии.

Смесители хлорной воды с обрабатываемой водой подразделяют на три типа: ершовые (при расходе сточных вод до 1400 м^3/сут), типа лоток Паршаля (рис. 7.4) и в виде емкости с пневматическим или механическим перемешиванием.

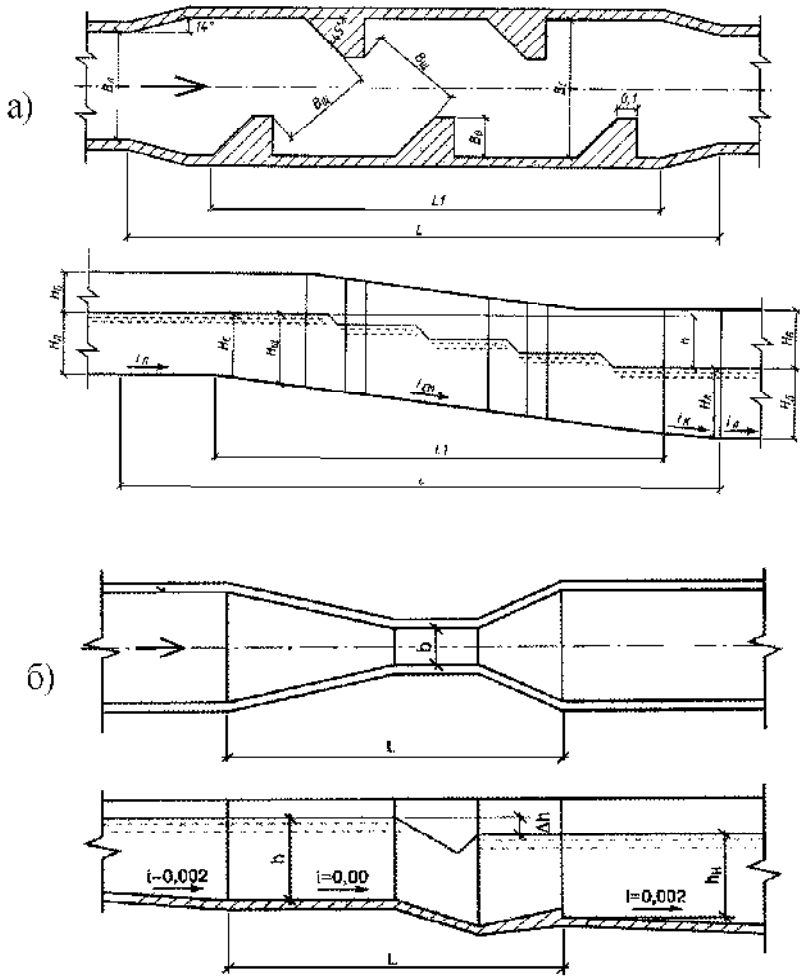

Рис. 7.4. Смесители хлорной воды: *а* – ершового типа; *б* – типа лоток Паршаля.

Контактные резервуары предназначены для обеспечения расчетной продолжительности контакта очищенных сточных вод с хлором или гипохлоритом натрия. Они проектируются как первичные горизонтальные отстойники количеством не менее двух без скребков на время пребывания сточных вод 30 мин. При этом учитывается и время протока сточных вод в выпуске. Разработано несколько типовых проектов контактных резервуаров, общий вид одного из них приведен на рис. 7.5. В контактных резервуарах предусматривается периодическое (примерно раз в 5…7 суток) удаление образующегося осадка и перекачка его в приемную камеру очистных сооружений.

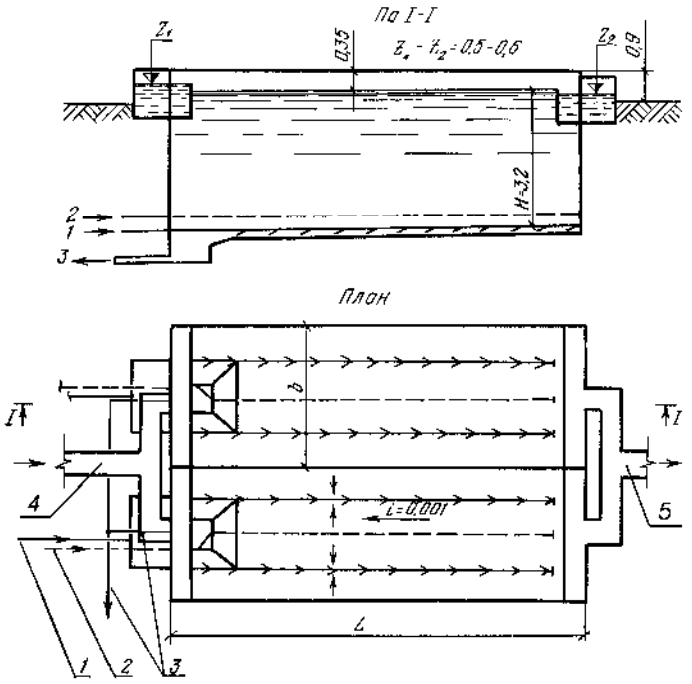

Рис. 7.5. Контактный резервуар для хлорирования сточных вод:
1- трубопровод технической воды; 2- трубопровод сжатого воздуха; 3- трубопровод опорожнения; 4, 5- лотки подвода и отведения сточной воды.

Обеззараживание озонированием

Озон (O_3) - аллотропная модификацией кислорода, наиболее сильный из известных в настоящее время окислителей. Так же как и хлор, озон является высокотоксичным, ядовитым газом. Это нестойкое вещество и саморазлагается, образуя кислород.

Обладая высоким окислительно-восстановительным потенциалом озон проявляет высокую реакционную активность по отношению к различного рода примесям воды, включая биологически не разлагаемые соединения и микроорганизмы. При взаимодействии озона с примесями воды протекает процесс их окисления. Одно из его преимуществ перед другими окислителями с гигиенической точки зрения – неспособность к реакциям замещения (в отличие от хлора). При озонировании в обрабатываемую воду не вносятся дополнительные примеси, а вероятность образования токсичных соединений значительно ниже, чем при хлорировании.

Бактерицидное действие озона объясняется его способностью нарушать обмен веществ в живой клетке за счет смещения равновесия восстановления сульфидных групп в неактивные дисульфидные формы. Озон очень эффективно обеззараживает споры, патогенные микроорганизмы и вирусы.

Интерес к применению озона для обработки сточных вод возник в связи с его потенциально меньшей опасностью для водоемов. Остаточный растворенный в воде озон полностью разлагается за 7…10 мин и в водоем не поступает. При обработке воды не образуются высокотоксичные галогенорганические соединения. Как правило, использование озона для обработки сточных вод имеет двойную цель: обеспечить обеззараживание и улучшить качество очищенной воды, кроме того, разложившиеся, не вступившие в реакцию молекулы озона обогащают воду растворенным кислородом.

Приблизительная доза озона для обеззараживания городских сточных вод прошедших полную биологическую очистки 8…14 г/м^3. Необходимая продолжительность контакта около 15 мин. Если целью применения озонирования является не только обеззараживание, но и доочистка сточных вод, то возможно увеличение дозы озона и продолжительности контакта. Так при озонировании биологически очищенных городских сточных вод с дозой озона около 20 г/м^3 помимо полного обеззараживания происходит снижение

ХПК воды на 40%, $БПК_5$ на 60…70%, ПАВ на 90%, окраска воды на 60%, практически полностью пропадает запах. На реакции озона в воде влияет большое число факторов и поэтому, более точно его дозу, определяют экспериментальным путем.

Получение озона. Озон быстро разлагается и не хранится, поэтому его получают на места использования. Аппараты для получения озона называют генераторами озона или озонаторами. В промышленных условиях озон получают пропусканием потока воздуха или кислорода между двумя электродами, к которым подводится переменный электрический ток высокого напряжения (5…25кВ). Чтобы избежать образования электрической дуги, один, а иногда оба электрода, покрывают слоем диэлектрика одинаковой толщины (диэлектрическим барьером), образующим эквипотенциальную поверхность. В такой разрядной системе образуется тлеющий коронный (тихий) разряд.

Принципиальная технологическая схема озонирования сточных вод состоит из двух основных блоков - получения озона и очистки сточных вод.

Блок получения озона (рис. 7.6) включает четыре ступени: забор и сжатие воздуха; охлаждение; осушка и фильтрование воздуха; генерация озона.

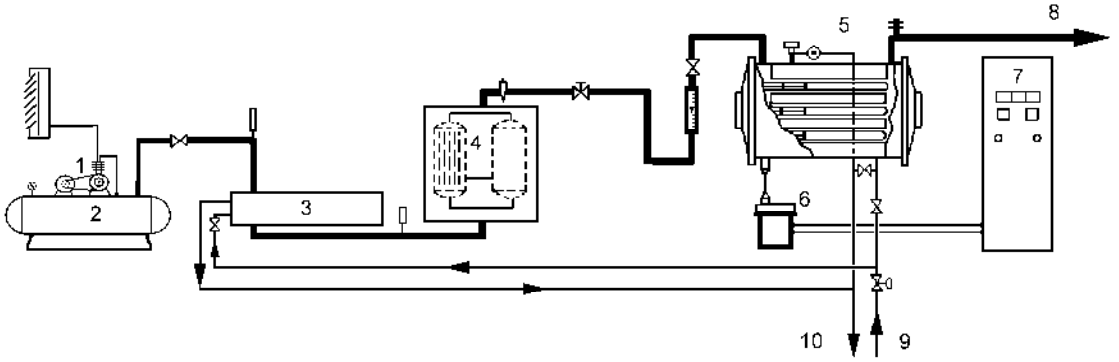

Рис. 7.6. Схема установки получения озона из воздуха:

1- компрессор; 2- ресивер; 3- охладитель воздуха; 4- осушительная установка; 5- генератор озона; 6- высоковольтный трансформатор; 7- электрический щит управления; 8- трубопровод озоно-воздушной смеси в контактную камеру; 9,10- подача и отведение охлаждающей воды.

Атмосферный воздух забирается через воздухозаборную шахту, оснащенную грубым фильтром, и компрессорами подается в специальные охладители, а затем на автоматические установки для осушки воздуха на адсорбенте – силикагеле. Осушенный воздух поступает в автоматические блоки фильтров, в которых осуществляется тонкая очистка воздуха от пыли. Из фильтров осушенный и очищенный воздух подается в генераторы озона.

В обрабатываемую сточную воду озон вводят различными способами: барботированием содержащего озон воздуха через слой воды (диспергирование воздуха происходит через фильтросы); смешиванием воды с озоно-воздушной смесью в эжекторах или в специальных импеллерных механических смесителях.

Выбор типа контактной камеры определяется расходами обрабатываемой воды и озоно-воздушной смеси, необходимым периодом контакта воды с озоном и скоростью химических реакций.

Контактные камеры. Основные типы контактных камер для обработки воды показаны на рис. 7.7.

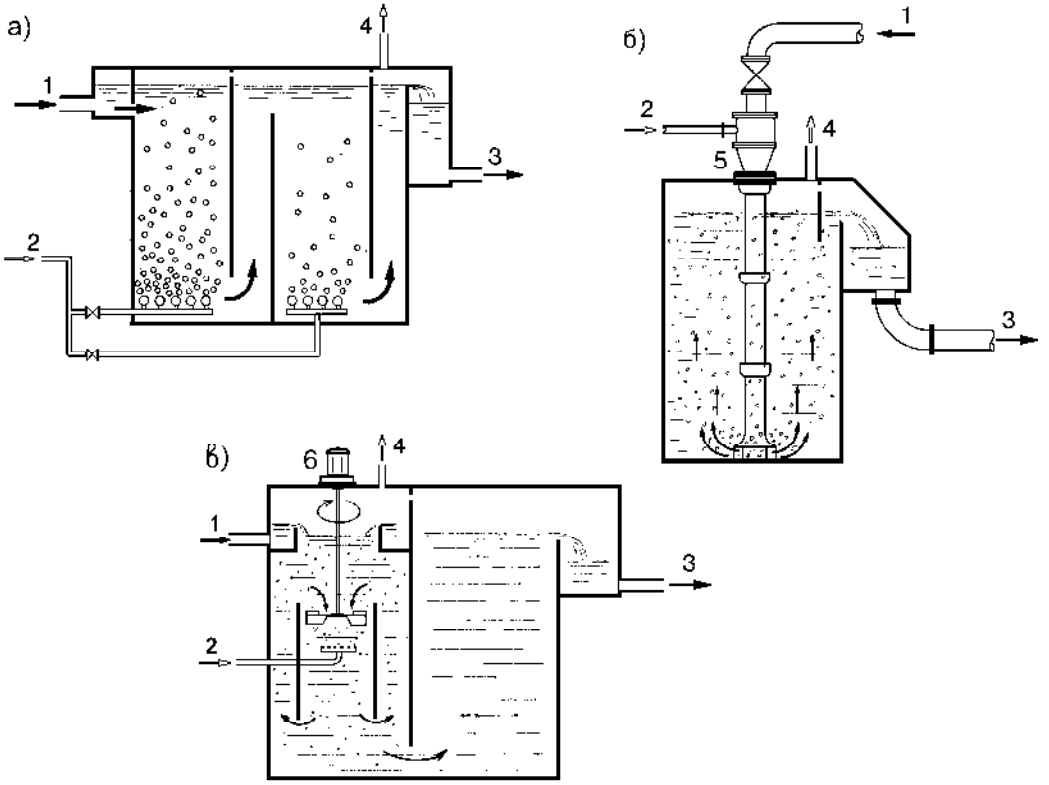

Рис.7.7. Контактные камеры: *а* – двухсекционная барботажная; *б* – камера, оборудованная инжектором; *в* – камера, оборудованная импеллером:

1- подача сточной воды; 2- подача озоно-воздушной смеси; 3- отведение обработанной воды; 4- выпуск отработанной озоно-воздушной смеси; 5- инжектор; 6- импеллерное устройство.

Двухсекционная барботажная контактная камера (рис. 7.7 *а*) наиболее распространена и применяется как для обеззараживания сточных вод, так и для их глубокой очистки. Озоно-воздушная смесь диспергируется в воде фильтросными элементами, которые изготавливаются в виде плоских пластин, труб или разных типов диффузоров, из пористых материалов на основе керамики, металлокерамики и пластмасс. Они обеспечивают получение пузырьков газа диаметром 1…4 мм. Барботажные контактные камеры могут быть одно- и многоступенчатыми.

На рис. 7.7 *б* дан пример контактной камеры с инжекцией озоно-воздушной смеси сточной водой, подаваемой под давлением. Водогазовая эмульсия подается инжектором ко дну контактного аппарата, откуда поднимается вместе с обрабатываемой водой.

Контактные камеры, оборудованные механическим смесителем - импеллером (рис. 7,7 *в*), применяются, как правило, для небольших расходов воды. Озоно-воздушная смесь подается в зону всасывания импеллера, который дробит ее на мелкие пузырьки и смешивает с обрабатываемой водой. Водогазовая эмульсия проходит в верхнюю часть колонны и снова захватывается импеллером. Этим обеспечиваются многократная рециркуляция потока воды и равномерное распределение пузырьков газа по объему реактора.

Количество не использованного в процессе обработки воды озона может составлять 2…8%. С целью предотвращения выбросов в атмосферу не прореагировавшего в контактных аппаратах озона, в системе выпуска отработанной озоно-воздушной смеси предусматривают установку деструкторов остаточного озона. Наибольшее распространение получили термические и термокаталитические деструкторы. Термический метод основан на способности озона быстро разлагаться при высоких температурах. В аппаратах термической деструкции озона обрабатываемый газ нагревают до температуры 340…350

^{o}С и выдерживают в течение 3 секунд. Термокаталитический метод деструкции основан на быстром разложении озона на кислород и атомарный кислород при температуре 60…120^{o}С в присутствии катализаторов.

Обеззараживание ультрафиолетовым облучением.

Наиболее распространенный безреагентный метод обеззараживания сточных вод – использование бактерицидного ультрафиолетового (УФ) излучения воздействующего на различные микроорганизмы, включая, бактерии, вирусы и грибы.

Обеззараживающий эффект УФ излучения обусловлен необратимым повреждением молекул ДНК и РНК микроорганизмов, находящихся в сточной воде, за счет фотохимического воздействия лучистой энергии, которое предполагает разрыв или изменение химических связей органической молекулы в результате поглощения энергии излучения.

Степень инактивации микроорганизмов УФ излучением пропорциональна его интенсивности I (МВт/см^2) и времени облучения Т (с). Произведение этих величин называется дозой облучения D (мДж/см^2) и является мерой бактерицидной энергии, сообщенной микроорганизмам.

При проектировании установок УФ обеззараживания сточных вод доза облучения принимается не менее 30 мДж/см^2.

Положительные санитарно-технологические аспекты применения УФ излучения для обеззараживания сточных вод это непродолжительное время контакта, исключение образования токсичных и канцерогенных продуктов, а также отсутствие пролонгированного биоцидного эффекта, оказывающего отрицательное влияние на водоем – приемник сточных вод. Отсутствует необходимость хранения опасных материалов и реагентов. Установки обеззараживания сточных вод ультрафиолетовым излучением легко автоматизируются и быстро запускаются в работу, они достаточно просты в обслуживании.

Данный метод обеззараживания наиболее применим на очистных сооружениях небольшой производительности (до 20000 м^3/сут). УФ установки эффективны при обеззараживании сточных вод, прошедших качественную биологическую очистку или доочистку на крупнозернистых фильтрах, так как присутствие взвешенных веществ существенно снижает бактерицидный эффект.

В качестве источников УФ излучения применяют специальные ртутно-кварцевые и ртутно-аргоновые лампы со специальным стеклом, которое благодаря отсутствию в нем оксидов Fe_2O_3, Cr_2O_3, V_2O_3 и сульфидов тяжелых металлов, поглощающих УФ лучи, обладает повышенной прозрачностью в области УФ спектра. Лампы низкого давления имеют потребляемую мощность 2…200 Вт и рабочую температуру 40…150°С, лампы высокого давления — мощность в пределах 50…10000 Вт при рабочей температуре 600…800°С.

Для обеззараживания сточных вод применяют установки напорного и безнапорного типа, которые свою очередь бывают с погруженными в воду источниками излучения (лампами) и не погруженными.

В нашей стране выпускаются напорные установки серии УДВ (НПО "ЛИТ") заводского изготовления для обеззараживания воды производительностью от 6 до 1000 м^3/ч и дозой облучения 45 мДж/см^2. В установках используются бактерицидные лампы низкого давления типа ДБ-75-2 со сроком службы 12000 ч (1,5 года). На рис. 7.8 представлена установка УДВ-6/6 производительностью 6 м^3/ч. Также выпускается оборудование для установок большей производительности безнапорного типа.

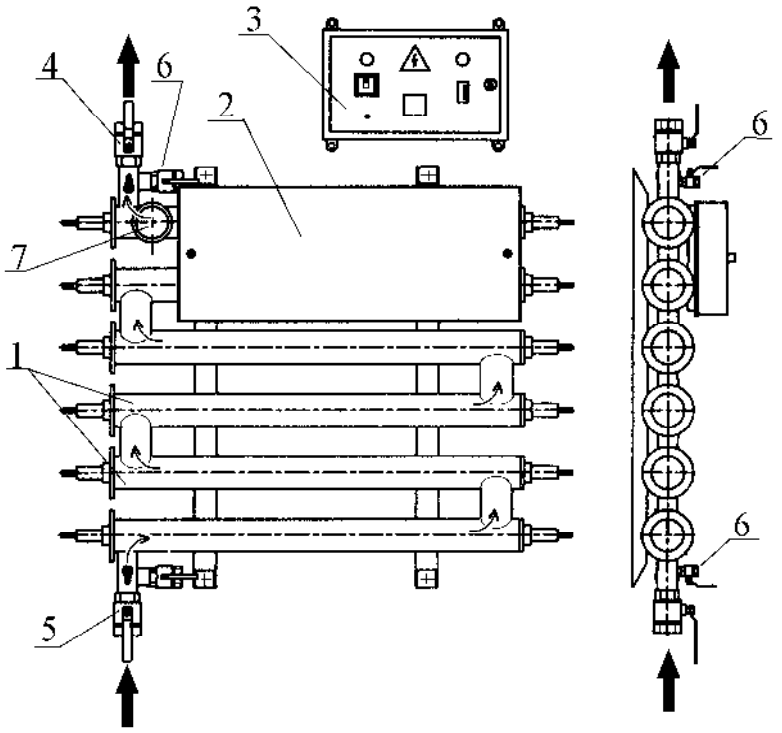

Рис. 7.8. Установка обеззараживания воды УФ-излучением УДВ-6/6:
1- модули УФ-ламп; 2- блок питания ламп; 3- пульт управления установкой; 4 – штуцер отведения обработанной воды, 5- штуцер подачи сточной воды; 6- штуцера подключения установки для промывки ламп кислотой; 7- иллюминатор со светофильтром.

7.2. Насыщение очищенной сточной воды кислородом.

Очищенные сточные воды практически не содержат растворенного кислорода. Это ухудшает состояние водоема, куда они выпускаются, и замедляет процессы их последующего биологического самоочищения. Для насыщения очищенных сточных вод кислородом перед выпуском их в водоем предусматривают специальные устройства: при наличии свободного перепада уровней между площадкой очистных сооружений и горизонтом воды в водном объекте - многоступенчатые водосливы-аэраторы, быстротоки и др., в остальных случаях проектируют барботажные емкостные сооружения.

Для северных городов России при крутом рельефе на выпуске очищенных сточных вод в водоем рекомендуются каскадные аэрационные перепады с фильтрующей загрузкой. Каскадный аэрационный перепад представляет собой систему водосливов-аэраторов, в которой после каждого водослива расположены водоворотная зона и зона фильтрации. В фильтрующей загрузке образуется биологическая пленка, на которой происходит сорбция органических загрязнений и их окисление.

7.3. Выпуск очищенных сточных вод в водоем

Очищенные сточные воды при искусственной очистке отводят по каналу к месту спуска их в водоем. Отводной канал обычно заканчивается береговым колодцем, из которого очищенные сточные воды через выпуск сбрасываются в водоем. Чем благоприятнее условия для перемешивания выпускаемых сточных вод с водами водоема, чем лучше используется самоочищающая способность водоема, тем более загрязненные сточные воды могут быть сброшены в него.

Выпуски сточных вод классифицируются по типу водоема (речные, озерные и морские), по месту расположения (береговые, русловые и глубинные) и по конструкции (сосредоточенные и рассеивающие).

Береговые сосредоточенные выпуски проектируются в виде открытых каналов, быстротоков, консольных сбросов, оголовков. При этом происходит весьма незначительное разбавление сбрасываемых сточных вод с водой водоема, поэтому использование самоочищающей способности водоемов очень низко. Такие выпуски применяют для сброса дождевых или малозагрязненных сточных вод. Чаще устраивают русловые рассеивающие выпуски (рис. 7.9), обеспечивающие наилучшее смешение сточных вод с речной водой. Глубинные выпуски применяют при сбросе сточных вод в озера, водохранилища, моря.

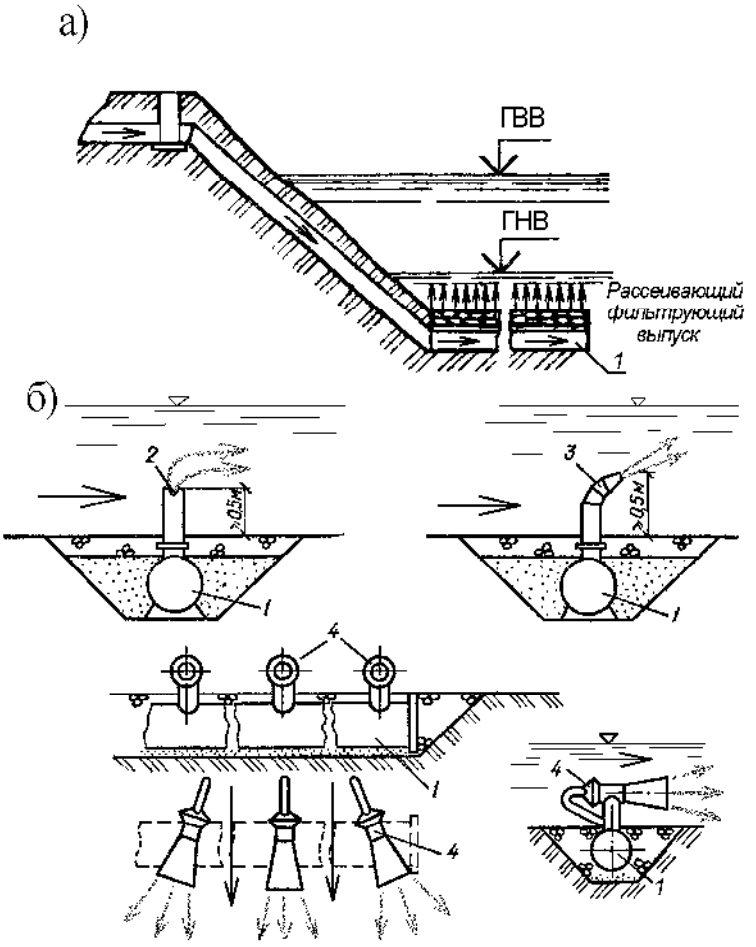

Рис. 7.9. Рассеивающий русловой выпуск сточных вод в реку: *а* – общая схема; *б* – виды рассеивающих оголовков:
1- распределительный трубопровод; 2- конусный рассекатель; 3- насадка-конфузор; 4- эжектор.