РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

КАЧЕСТВО ВОДЫ

До проектирования какого-либо сооружения инженеры должны тщательно изучить требования, явления и процессы, с которыми придется столкнуться проектировщикам. Причем оценка влияния разных факторов должна быть не только качественной, но и количественной.

В данном разделе приводятся исходные данные проектирования с учетом требований к качеству воды. Кроме того, изложены данные и методы расчета формирования качества природных вод. Основными при этом являются требования к качеству воды с учетом нормативных данных, определяемых разными потребителями. Особое внимание уделяется качеству воды водных объектов, являющихся приемниками сточных вод.

Отдельно приведены методы расчета для прогнозирования качества воды водных объектов, от которых зависит рациональное использование воды. Даны методы расчета степени очистки сточных вод по основным ингредиентам загрязненности исходя из нормативов предельно допустимой концентрации загрязняющих веществ в воде водоемов.

ГЛАВА 1

СВОЙСТВА ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД

1.1. Показатели качества воды

Природные, сточные и другие виды вод представляют собой сложные системы, основу которых составляет химическое соединение, имеющее простую формулу H_2O. Молекула воды состоит из двух атомов водорода и одного атома кислорода.

Примеси в природных и сточных водах могут быть во взвешенном, коллоидном или растворенном состояниях, причем количество отдельных примесей в воде определяет ее свойства. Примеси во взвешенном состоянии представляют собой нерастворимые в воде суспензии и эмульсии. Они кинетически неустойчивы и находятся во взвешенном состоянии вследствие гидродинамического воздействия течения потока.

Примеси в коллоидном состоянии представляют собой гидрофобные и гидрофильные органические и минеральные коллоидные частицы. Коллоидные частицы могут быть природного или антропогенного происхождения, как, например, нерастворимые формы гумусовых веществ, детергенты, вирусы и др., которые по своим размерам близки к коллоидным примесям.

Концентрация отдельных примесей в воде определяет ее свойства, т. е. качество воды. Различают показатели качества воды физические, химические, биологические и бактериологические.

Физические показатели характеризуются как общесанитарные и они могут быть следующие.

Взвешенные вещества содержатся в природных и сточных водах, они могут быть минерального и органического происхождения. Эти вещества характеризуют наличие в воде суспензированных частиц песка, глины, ила, планктона и др. В зависимости от размеров отдельных частиц и их плотности взвешенные вещества могут выпадать в виде осадка, всплывать на поверхность воды или оставаться во взвешенном состоянии.

Цветность воды (окраска) обусловлена присутствием в воде *гумусовых и дубильных веществ, жиров, органических кислот* и других органических соединений.

Запах и вкус воды могут быть естественными или искусственными.

Количественно запах и вкус воды оцениваются по пятибалльной шкале: 0— никакого; 1— очень слабый; 2— слабый; 3— заметный; 4— отчетливый; 5— очень сильный.

С плавающими веществами приходится встречаться при спуске в водоемы сточных вод, содержащих нефть и нефтепродукты, пены и др.

Химические показатели условно делят на пять групп: главные ионы, растворенные газы, биогенные вещества, микроэлементы и органические вещества.

Главные ионы. Наиболее распространенные в природных водах анионы: HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-, CO_3^{2-}, $HSiO_3^-$ и катионы: Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, Fe^{2+}. Содержание главных ионов в пресных водах составляет 90 ... 95 % от общего солесодержания. В производственных сточных водах их проявления могут быть очень разнообразны, это ионы висмута, кобальта, никеля, мышьяка и других тяжелых металлов.

Растворенные газы. Среди них определенное значение имеют кислород, диоксид углерода, сероводород и др. Содержание кислорода в воде поверхностных водоемов определяется поступлением его из воздуха и в результате фотосинтеза. В зимний период концентрация кислорода в воде водоемов резко уменьшается из-за отсутствия реаэрации и в связи с поступлением только подземных вод, почти не содержащих кислорода. Растворимость кислорода в воде зависит от температуры воды.

Диоксид углерода находится в воде как в растворенном виде, так и в форме угольной кислоты. Основным источником диоксида углерода в поверхностных водах являются биохимические процессы распада органических веществ, а также он попадает в водоемы с подземными водами. Концентрация диоксида углерода в воде зависит от солесодержания, pH, температуры и др.

Сероводород в природных водах встречается органического (продукт распада органических соединений) и неорганического (растворение минеральных солей) происхождений. Наличие сероводорода в воде придает ей неприятный запах, способствует коррозии металла и может вызвать зарастание трубопроводов.

Биогенные вещества. К этой группе относят соединения, необходимые для жизнедеятельности водных организмов и образующиеся ими в процессе обмена веществ. Это, в первую очередь, минеральные и органические соединения азота, а также фосфора.

Органические формы азота представлены белками и продуктами их распада и поступают они в водные объекты с очищенными сточными водами. Неорганические соединения азота NH_4^+, NO_2^-, NO_3^- могут образоваться при разложении азотсодержащих органических соединений или же поступают в водоемы с атмосферными осадками, при вымывании удобрений из почвы. Промежуточной формой окисления аммонийного азота в нитраты NO_3^- являются нитриты NO_2^-.

Важным биогенным элементом является фосфор. В природных водах соединения фосфора присутствуют в небольших концентрациях и оказывают существенное влияние на водную растительность.

Соединения железа (II) содержатся в основном в подземных водах. В поверхностных водах концентрация соединений железа (III) незначительна вследствие полного гидролиза солей.

Микроэлементы. Это такие элементы, содержание которых в воде составляет менее 1 мг/л. Микроэлементы в природных водах могут находиться в виде ионов, молекул, коллоидных частиц, взвеси, входить в состав минеральных и органических комплексов. В питьевой воде важное гигиеническое значение имеют соединения иода и фтора.

Органические вещества. В природных водах они бывают в виде гумусовых соединений, которые образуются при разложении растительных остатков. Органические примеси сточных вод вследствие их многообразия, сложности и трудности анализа непосредственно не определяются.

Для характеристики степени загрязнения воды органическими соединениями применяют такие косвенные методы, как окисляемость воды и биохимическое потребление кислорода.

Окисляемость воды — это количество кислорода, необходимое для окисления примесей в данном объеме мг O_2/л. В зависимости от применяемого окислителя различают перманганатную и биохромат-

ную окисляемость. Для оценки содержания органических веществ в сточной воде, особенно если она представляет собой смесь бытовых и производственных вод, определяют химическое потребление кислорода (ХПК).

Степень загрязнения воды органическими соединениями выражается количеством кислорода, необходимым для их окисления микроорганизмами в аэробных условиях, и носит название биохимической потребности в кислороде (БПК). Полным БПК *считается количество кислорода, требуемое для окисления* органических веществ до начала процессов нитрификации ($БПК_{полн}$). В лабораторных исследованиях наряду с полным БПК определяется биохимическая потребность в кислороде в течение 5 сут — $БПК_5$. Для бытовых сточных вод (без существенной примеси производственных) иногда считается, что за полную биохимическую потребность в кислороде можно принять $БПК_{20}$. Количество кислорода, расходуемое для окисления аммонийного азота до нитритов и нитратов, при определении БПК не учитывается. Разность между ХПК и БПК характеризуется наличием примесей, не окисляющихся биохимическим путем, и количеством органических веществ, идущих на построение клеток микроорганизмов.

Активная реакция воды является показателем щелочности или кислотности, количественно она характеризуется концентрацией водородных ионов. Для нейтральной воды pH = 7, для кислой — меньше 7 и для щелочной — больше 7. Активная реакция природных вод обычно варьируется в пределах 6,5 ... 8,5, pH сточных вод колеблется в больших пределах в зависимости от происхождения.

Биологические показатели качества воды главным образом относятся к природным водам. Основные из них гидробионты и гидрофлора. Гидробионты подразделяются на планктон — обитатели, пребывающие в толще воды от дна до поверхности; *benios* — обитатели, находящиеся на дне водоема, *neision* — организмы, населяющие поверхностную пленку воды.

Гидрофлора водных объектов определяется макро- и микрофитами. К первым относится высшая водная растительность, а ко вторым — водоросли.

При отмирании и разложении макрофитов вода обогащается органическими веществами, ухудшая органолептические показатели качества воды.

Микрофиты не только поглощают углекислоту, но и продуцируют кислород.

Бактериологические показатели качества воды характеризуют безвредность воды относительно присутствия болезнетворных микроорганизмов.

Важным бактериологическим показателем является содержание бактерий группы кишечной палочки в 1 л воды, которое определяет величину коли-индекса. Наименьший объем воды (в мл), приходящийся на одну кишечную палочку, называют коли-титром.

1.2. Свойства природных вод

Под качеством природной воды следует понимать совокупность ее свойств, обусловленных концентрацией содержащихся в воде примесей. Природные воды представляют собой сложные системы, содержащие растворенные вещества в виде ионов и молекул, минеральные и органические соединения в форме коллоидов, суспензий и эмульсий. Формирование состава природных вод происходит в результате взаимодействия воды с окружающей средой. При этом протекают такие процессы, как растворение соединений, химическое взаимодействие веществ с водой, биохимические реакции. На формирование состава природных вод заметно влияет практическая деятельность человека.

При оценке качества природной воды с точки зрения возможности ее обработки имеет значение не только природа веществ, но и их физико-химическое состояние. Л. А. Кульским предложена классификация примесей воды, согласно которой они разделены на четыре группы.

К первой группе примесей относятся взвешенные вещества: суспензии и эмульсии, средний размер частиц которых составляет 10^{-3}... 10^{-5} см. В совокупности эти примеси обусловливают мутность воды. Представление о составе примесей можно получить на основе химического, гидробиологического и бактериологического анализов.

К второй группе относятся коллоидно-растворенные примеси и высокомолекулярные органические соединения с размерами 10^{-5}...10^{-6} см. К примесям относятся минеральные и органоминеральные частицы почв, коллоидные соединения железа и гумус, образующийся в результате химического и биохимического разложения растительных остатков непосредственно в водоеме. Наличие коллоидных примесей увеличивает мутность воды.

Третью группу примесей составляют молекулярно растворенные вещества с размером частиц 10^{-6} ... 10^{-7} см. Растворенные газы, главным образом кислород и углекислый газ, практически всегда содержатся в природной воде. В загрязненных источниках может присутствовать сероводород. В связи с невозможностью индивидуального аналитического определения всех присутствующих в воде органических соединений прибегают к суммарной оценке их содержания при помощи окисляемости воды.

Четвертая группа примесей представлена веществами, диссоциирующими в воде на ионы, со степенью дисперсности менее 10^{-7} см. Это главным образом соли, концентрация которых определяет степень минерализации воды. Общее содержание солей в воде приближенно оценивают по величине плотного остатка. Более полное представление о составе примесей этой группы дает изучение ионного состава воды. Для большинства природных вод общее солесодержание достаточно точно определяется катионами и анионами. Если вода электронейтральна, то суммы концентраций катионов и анионов,

выраженные в мг.экв/л, равны. Ионный состав воды обусловливает один из важнейших показателей ее качества — щелочность.

При более высоких значениях pH бикарбонатная щелочность постепенно уменьшается при одновременном увеличении карбонатной щелочности.

Определенное влияние на свойства воды оказывают соединения угольной кислоты. Вместе с ионами кальция они образуют карбонатно-кальциевую систему равновесий. Вода при этом стабильна, так как не происходит ни выпадения карбонатов, ни их дополнительного растворения. Избыток CO_2 сверх равновесной концентрации называется агрессивной углекислотой,и контакт такой воды с бетоном приводит к вымыванию из него карбоната кальция. Недостаток CO_2 по сравнению с равновесной концентрацией приводит к дополнительному образованию и выпадению в осадок малорастворимого карбоната кальция. Стабильность воды может быть оценена экспериментально.

1.3. Охрана источников воды от загрязнения

Поверхностные воды считаются загрязненными, если их состав или свойства изменились под прямым или косвенным влиянием деятельности населения и они стали в результате этого непригодными для одного или нескольких видов водопользования. Критерием *загрязненности воды* является *ухудшение* ее *качества вследствие* изменения ее органолептических свойств и появления вредных веществ. Степень пригодности состава и свойств поверхностных вод изложена в § 2.4.

Условия спуска сточных вод в водоемы определяются с учетом: степени возможного смешения и разбавления сточных вод с водой водоема на пути от места выпуска сточных вод до створа водопользования, методика определения которой приведена в гл. 3; существующего уровня загрязнения водоемов до места проектируемого сброса сточных вод.

Запрещается спускать в водные объекты сточные воды, которые могут быть устранены путем рациональной технологии и максимального использования в оборотной системе водоснабжения. Запрещается также спускать воды, содержащие ценные отходы, и воды, содержащие производственное сырье, реагенты, полупродукты или конечные продукты производства. Бытовые и производственные сточные воды, которые с учетом местных условий и состава стоков могут быть использованы для орошения, нельзя спускать в водные объекты.

Требования к условиям спуска сточных вод в водоемы распространяются на существующие выпуски всех видов производственных и бытовых сточных вод, а также на все проектируемые выпуски сточных вод вновь строящихся, реконструируемых и расширяемых

предприятий, на все проектируемые выпуски сточных вод канализации населенных мест.

Одним из основных документов законодательства является Закон Российской Советской Федеративной социалистической республики об охране окружающей природной среды от 19.12.91 г. № 2060-1, где содержатся обязательные для всех министерств, ведомств, органов, а также граждан принципиальные положения о порядке использования и охраны всех водных объектов. Этот закон обладает высшей юридической силой по сравнению с другими законами, положениями и актами.

В «Санитарных правилах и нормах охраны поверхностных вод от загрязнения» предусматривается предупреждение загрязнения открытых водоемов, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения, культурно-бытовых нужд населения и хозяйственных целей.

1.4. Состав сточных вод

Сточная вода — это вода, где загрязнение изменяет первоначальный химический состав воды или ее физические свойства. К сточным относят также загрязненные воды атмосферных осадков и воду от поливки улиц. Так называемая условно чистая вода (от охлаждения машин и др.) часто удаляется непосредственно в водоем или возвращается для повторного использования.

Сточные воды делятся на бытовые, производственные и ливневые. Они отличаются друг от друга своим происхождением, составом и биологической активностью. В настоящее время бытовые воды в чистом виде практически не встречаются, за исключением случаев канализования небольших населенных мест и объектов. Сточные воды представляют собой сложные гетерогенные системы загрязняющих веществ, которые могут находиться в растворенном, коллоидном и нерастворенном состояниях. Всегда присутствуют как органические, так и неорганические компоненты загрязнений.

Бытовые сточные воды образуются в результате практической деятельности и жизнедеятельности людей. Концентрацию загрязняющих веществ бытовых сточных вод определяют исходя из удельного водоотведения на одного жителя:

$$S = 1000a/q, \tag{1.1}$$

где S — концентрация загрязняющего вещества, мг/л; a — количество загрязнений, приходящееся на одного жителя, г/сут; q — норма водоотведения на одного жителя, л/сут.

Значения a приведены в табл. 1.1. При сбросе бытовых сточных вод промышленных предприятий в канализацию населенного пункта количество загрязняющих веществ от эксплуатационного персонала дополнительно не учитывается.

В составе концентрации загрязняющих веществ в сточных водах необходимо учитывать их содержание в исходной водопроводной воде, а также загрязняющие вещества от сооружений по обработке осадков сточных вод и т. п.

В сточных водах содержатся примеси минерального и органического происхождения. Можно принять, что минеральные загрязнения в бытовых сточных водах в виде нерастворимого вещества — 5 %, суспензии —5, коллоиды —2 и растворенные вещества — 30 %. Для органических веществ эти проценты соответственно следующие: нерастворимые —15 %, суспензии —15, коллоиды —8 и растворимые —20 %. Минеральные соединения представлены солями аммония, фосфатами, хлоридами, гидрокарбонатами и другими соединениями. Бытовые сточные воды имеют обычно слабощелочную реакцию среды (pH = 7,2 ... 7,8).

Таблица 1.1. Количество загрязнений на одного жителя

Показатель	*a*, г/сут
Взвешенные вещества	65
$БПК_{полн}$ неосветленной жидкости	73
$БПК_{полн}$ осветленной жидкости	40
Азот аммонийных солей	8
Фосфаты (в расчете на P_2O_5)	3,3
в том числе от моющих веществ	1,6
Хлориды	9
Поверхностно-активные вещества (ПАВ)	2,5

Органические вещества бытовых сточных вод можно разделить на две группы: безазотистые и азотсодержащие вещества. Основная часть безазотистых органических веществ представлена углеводами и жирами. Азотсодержащие органические соединения представлены белками и продуктами их гидролиза. Особую форму примеси бытовых сточных вод представляют микроорганизмы. Иногда могут присутствовать болезнетворные формы микроорганизмов (бактерии или вирусы).

Состав производственных сточных вод зависит от характера производственного процесса и отличается большим разнообразием. В зависимости от состава примесей и специфичности их действия на водные объекты сточные воды могут быть разделены на следующие группы:

1. Воды, содержащие неорганические примеси со специфическими токсичными свойствами. Сюда входят стоки металлургии, гальванических цехов и др. Они могут вызвать изменение pH воды водоемов. Соли тяжелых металлов являются токсичными по отношению к водным организмам.

2. Воды, в которых неорганические примеси не обладают токсичным действием. К этой группе относятся сточные воды

рудообогатительных фабрик, цементных заводов и др. Примеси такого типа находятся во взвешенном состоянии. Для водоема особой опасности эти воды не представляют.

3. Воды, содержащие нетоксичные органические вещества. Сюда входят сточные воды предприятий пищевой промышленности. При попадании их в водоем возрастает окисляемость, БПК, снижается концентрация растворенного кислорода.

4. Воды, содержащие органические вещества со специфическими токсичными свойствами. К этой группе относятся сточные воды предприятий органического синтеза, нефтеперерабатывающих предприятий и др.

Кроме показателей общего содержания таких органических веществ, как ХПК, БПК, нефтепродукты, для оценки состава производственных сточных вод определяют химическими анализами концентрацию индивидуальных примесей.

Для ориентировочной оценки производственных сточных вод приводим ниже некоторые данные о составе этих вод. Воды машиностроительных заводов загрязнены нефтепродуктами, минеральными взвешенными веществами, неорганическими кислотами, цианидами. В состав воды входят медь, марганец, хром, цинк, кадмий и другие вещества.

В составе воды нефтеперерабатывающих предприятий могут быть нефтепродукты, жиры, минеральные взвеси, хлориды, сульфаты и др.

Сточная вода заводов синтетической химии содержит органические взвеси, хлориды, сульфаты, ПАВ, фенолы, ацетон, бутанол, дибутилфталат, уксусную кислоту и формальдегид.

Концентрация загрязняющих веществ зависит от технологии производства и в каждом конкретном случае определяется специальными исследованиями.

Степень загрязнения дождевых вод зависит от многих факторов, в том числе от общей санитарной обстановки населенного пункта. Принятая технология сухой уборки улиц не обеспечивает полного удаления загрязнений. Мусор с проезжей части дорог содержит значительное количество органики, биогенов, нефтепродуктов, солей тяжелых металлов.

Загрязненность дождевого стока зависит от его расхода. При расходе менее 25 л/с·га сточные воды практически не смывают загрязнений и поэтому загрязненность их минимальна. По мере увеличения расхода стока в нем растут концентрации взвешенных веществ, фосфора и азота, достигая максимума непосредственно перед пиком дождя. Через 30 ... 60 мин после начала дождя они стабилизируются и остаются практически постоянными до конца дождя. При повторном дожде наблюдается повторный пик загрязнений, хотя и значительно меньший, чем во время первого. Кривая линия, характеризующая вынос загрязнений во время дождя, подобна гидрографу стока. Основная часть загрязненных дождевых вод поступает в канализацию в начале дождя.

Максимальные величины БПК воды наблюдаются в летние месяцы, а осенью они снижаются почти в 2 раза. Для биогенных веществ характерен пик ранней весной и второй пик наблюдается осенью после листопада.

Некоторые качественные характеристики городского поверхностного стока приведены в табл. 1.2. Загрязненность талых вод в первую очередь зависит от режима таяния снега. В ряде случаев при использовании поваренной соли во время гололеда талые воды содержат значительное количество хлоридов.

Таблица 1.2. Качественная характеристика городского поверхностного стока

Показатели	Средняя концентрация загрязняющих веществ в водах, мг/л		
	дождевых	талых	моечных
pH	7,75	8,15	7,75
Взвешенные вещества	1230	1645	700
ХПК нефильтрованной воды	470	562	400
ХПК фильтрованной воды	40,7	—	—
$БПК_5$	26	150	—
$БПК_{полн}$	62	220	—
Эфирорастворимые	63	—	100
Азот аммонийный	2	14	5,2
Азот общий	4,9	34	—
Нитраты	0,08	—	0,6
Нитриты	0,08	0,36	0,3
Фосфор общий	1,08	—	0,1

Качество и состав поверхностного стока с городской территории зависят от целого ряда трудно учитываемых и трудно прогнозируемых факторов. Большое разнообразие местных условий делает практически невозможным получение усредненных показателей качества поверхностного стока в целом. Приведенные в табл. 1.3 данные о загрязненности дождевых вод с территории промышленных предприятий весьма приближенные. Удельный вес отдельных показателей в этом стоке определяется прежде всего видом производства. Высокие концентрации взвешенных веществ (4...6 г/л) характерны для металлургических заводов, предприятий строительных материалов, горнообогатительных комбинатов. Максимальные концентрации органических загрязнений наблюдаются в стоке с территорий предприятий пищевой и легкой промышленности.

В поверхностном стоке с золоотвалов ТЭЦ, со складов сырья деревообрабатывающих и целлюлозно-бумажных комбинатов содержатся летучие и нелетучие фенолы.

В системе дождевой канализации должна быть обеспечена очистка наиболее загрязненной части поверхностного стока, обра-

Таблица 1.3. **Степень загрязнения поверхностных вод с некоторых характерных территорий**

Характерные территории	Концентрация загрязняющих веществ в водах, мг/л					
	Взвешенные вещества			Эфирорастворимые вещества		
	дождевых	талых	моечных	дождевых	талых	моечных
Жилые кварталы и микрорайоны	250	3500	200	35	40	75
Территории промышленных предприятий и сооружений с повышенной загрязненностью, расположенные в населенном пункте	2000	4500	2000	250	70	150
Площади и улицы, с которых уборка осуществляется машинами с пневматическим забором мусора в кузов	200	2500	20	30	45	75
Автомагистрали с интенсивным движением грузового транспорта	1300	2700	1300	60	65	100

зующегося в период выпадения дождей, таяния снега и мойки дорожных покрытий. Очистке подлежит не менее 70 % годового стока для селитебных территорий и площадок предприятий.

ГЛАВА 2

ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ВОДЫ

2.1. Хозяйственно-питьевая вода

Качество воды, подаваемой на хозяйственно-питьевые нужды, должно соответствовать требованиям ГОСТ 2874—82 «Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством».

Безвредность химического состава воды характеризуется токсикологическими показателями ее качества, определяемыми наличием в воде веществ, имеющихся обычно в природных водах, а также появляющихся в результате загрязнения источников воды. Требования к показателям химического состава приведены в табл. 2.1.

Показатели химического состава воды, влияющие на ее органолептические свойства, не должны превышать нормативов, представленных в табл. 2.2.

В отдельных случаях по согласованию с органами санитарного надзора для водопровода, подающего воду без соответствующей обработки, допускается содержание железа до 1,0 мг/л (при отсутствии станции обезжелезивания); жесткости общей до 10 ммоль/л; содержание марганца до 0,5 мг/л и сухого остатка до 1500 мг/л.

Органолептические свойства воды должны соответствовать следующим требованиям: запах при 20°С при нагревании до 60°С — не более 2 баллов; вкус и привкус при 20°С — не более 2 баллов; цветность — не более 20°; мутность по стандартной шкале — не более 1,5 мг/л.

Таблица 2.1. **Требования химического состава воды хозяйственно-питьевого назначения**

Показатель, мг/л	Норматив, не более	Показатель, мг/л	Норматив, не более
Алюминий остаточный Al^{3+}	0,5	Свинец Pb^{2+}	0,03
		Стронций Sr	7,0
Бериллий Be	0,002	Фтор F^- для климатических районов:	
Молибден Mo	0,25		
Мышьяк As	0,05	I, II	1,5
Нитраты NO_3^-	45,0	III	1,2
Полиакриламид остаточный	2,0	IV	0,7

По согласованию с органами санитарного надзора допускается увеличение цветности воды до 35° платинокобальтовой шкалы и мутности (в паводковый период) до 2 мг/л.

Таблица 2.2. **Показатели химического состава воды, влияющие на ее органолептические свойства**

Показатель	Норматив, не более	Показатель	Норматив, не более
Водородный показатель pH	6,0 ... 9,0	Полифосфаты остаточные, *мг/л*	3,5
Железо Fe, мг/л	0,3	Сульфаты SO^{2-}_4, мг/л	500,0
Жесткость общая, мг-экв/л (ммоль/л)	7,0	Сухой остаток, мг/л	1000,0
Марганец Mn, мг/л	0,1	Хлориды Cl^-, мг/л	350,0
Медь Cu, мг/л	1,0	Цинк Zn, мг/л	5,0

Остаточная концентрация обеззараживающих реагентов — хлора и озона — должна находиться в пределах, указанных в табл. 2.3.

Таблица 2.3. **Остаточная концентрация обеззараживающих реагентов**

Обеззараживающий реагент	Концентрация, мг/л	Время контакта воды с обеззараживающим реагентом, мин, не менее
Хлор:		
свободный	0,3 ... 0,5	30
связанный	0,8 ... 1,2	60
Озон	0,1 ... 0,3	12

Микробиологические показатели качества питьевой воды должны соответствовать следующим требованиям: число микроорганизмов в 1 мг воды — не более 100; число бактерий группы кишечных палочек в 1 л воды (коли-индекс) — не более 3.

Отдельные производства пищевой промышленности помимо рекомендации ГОСТ 2874—82 предъявляют к воде дополнительные требования.

2.2. Техническая вода

Количество воды, подаваемой на производственные нужды, должно соответствовать технологическим требованиям с учетом его влияния на выпускаемую продукцию и обеспечения надлежащих санитарно-гигиенических условий для обслуживающего персонала.

Основные требования к *охлаждающей воде:* достаточно низкая температура, малая карбонатная жесткость, предельно малые концентрации ионов железа и сероводорода. Ограничения, связанные с устранимой жесткостью, вызваны возможным переходом гидрокарбонатов кальция и магния при нагревании в карбонаты, отлагающиеся на стенках теплообменной аппаратуры.

Соединения железа, сероводород усиливают коррозию железа в воде и вызывают образование обрастаний на внутренних поверхностях труб. Поэтому соединения железа в охлаждающей воде не должны превышать 0,1 мг/л, а сероводорода —0,5 мг/л. Карбонатная жесткость допускается до 2,8 мг-экв/л.

Обычно качество воды, используемой для охлаждения, при котором не происходит в холодильных аппаратах зарастания живого сечения и не возникает коррозии, должно определяться для конкретных условий специальным расчетом с учетом всех вышеприведенных факторов.

Более строгие требования предъявляются к воде, идущей для *питания паровых котлов.* Природная вода для этой цели непригодна и поэтому ее обязательно подвергают специальной обработке. Основные требования: предельно малые значения общей жесткости, растворенного кислорода, минимальное солесодержание, отсутствие взвешенных веществ и соединений кремния. Ориентировочные требования к качеству воды составляют для котлов высокого давления: жесткость — до 0,010 мг-экв/л; концентрации кремниевой кислоты — до 0,03 мг/л; железа — до 0,1 мг/л; растворенного кислорода — до 0,03 мг/л; содержание масел — до 0,5 мг/л и т. д. Все эти показатели зависят от вида топлива, давления, конструкции котлов и др.

Строгие требования предъявляются к воде в некоторых отраслях химической и радиоэлектронной промышленности, когда вода входит в контакт непосредственно с продуктом, на качество которого могут вредно влиять даже небольшие содержания примесей.

Вода, используемая для приготовления бетона и цементного раствора, должна иметь сухой остаток до 5000 мг/л, pH≥4. Содержание сульфатов во избежание сульфатной коррозии бетона *не должно превышать 2700 мг/л.*

2.3. Сточная вода

При спуске в водные объекты. Количество сточных вод, выпускаемых в водные объекты, определяется при помощи *предельно допустимого сброса* (ПДС). Под ПДС понимается масса вещества в сточных водах, максимально допустимая к отведению с установленным режимом в данном пункте водного объекта в единицу времени с целью обеспечения норм качества воды в контрольном пункте. ПДС устанавливается с учетом *предельно допустимых концентраций* (ПДК) веществ в местах водопользования (см. § 2.4), ассимилирующей способности водного объекта и оптимального распределения массы сбрасываемых веществ между водопользователями, сбрасывающими сточные воды. При сбросе нескольких веществ с одинаковыми лимитирующими показателями вредности ПДС устанавливается так, чтобы с учетом примесей, поступивших в водоем или водоток от вышерасположенных выпусков, сумма отношений концентрации каждого вещества в водном объекте к соответствующим ПДК не должна превышать единицы (эта методика приведена в § 2.4).

Для каждого конкретного случая при установлении лимита отведения сточных вод в водный объект и для прогнозирования степени загрязнения водного объекта ниже по течению проектируемого выпуска расчет величины ПДС производится на основе уравнения баланса, учитывающего фоновую концентрацию, гидрологические, гидравлические и гидродинамические особенности водного объекта.

Проекты ПДС разрабатываются и утверждаются для предприятий, учреждений и организаций, имеющих или проектирующих самостоятельные выпуски сточных вод в водные объекты в целях соблюдения ПДК в контрольных створах водопользования.

Расчет ПДС производится по наибольшим среднечасовым расходам сточных вод q (в $м^3/ч$) фактического периода спуска сточных вод. Концентрация загрязнений $S'_{ст}$ выражается в мг/л ($г/м^3$), а ПДС — в г/ч.

ПДС с учетом требований к составу и свойствам воды в водных объектах определяется для всех категорий водопользования как произведение

$$ПДС = qS'_{ст}. \qquad (2.1)$$

Необходимо подчеркнуть обязательное требование сброса массы вещества, соответствующей ПДС с расходом сточной воды q, принятой для расчета по формуле (2.1). Уменьшение расхода q при

сохранении величины ПДС будет приводить к концентрации вещества в сточной воде, превышающей $S'_{ст}$, что недопустимо.

Концентрация $S'_{ст}$, необходимая для расчета ПДС по формуле (2.1), при сбросе сточных вод в черте города (населенного пункта) принимается по величине не более предельно допустимой концентрации, соответствующей требованиям, установленным к составу и свойствам воды водных объектов в местах водопользования. В других случаях $S'_{ст}$ определяется по методам, изложенным в гл. 3.

Исходя из вышеприведенной методики требуемая степень очистки сточных вод по рассматриваемому показателю загрязнения определяется как

$$n_{оч} = \frac{S_{ст\text{ф}} - ПДС}{S_{ст\text{ф}}} 100, \qquad (2.2)$$

где $S_{ст}$ — концентрация загрязняющего вещества до очистки, т. е. концентрация вещества в свежей сточной жидкости.

Если, например, $S_{ст} < S'_{ст}$, то очистка сточных вод не требуется. Разница между концентрациями $S'_{ст}$ — ПДК определяется влиянием процессов разбавления и самоочищения (см. гл. 3).

При поступлении на очистные сооружения. Промышленные сточные воды, прошедшие локальные очистные сооружения, и бытовые сточные воды в большинстве случаев поступают для совместной очистки на сооружения биологической очистки городских канализаций.

На крупных промышленных предприятиях обычно образуются сточные воды различного качества, для отвода которых строится несколько канализационных систем. Каждая система может иметь свои локальные очистные сооружения. При выборе схемы локальных очистных сооружений следует иметь в виду, что концентрация смеси загрязняющих веществ, поступающих в канализацию с производственными и хозяйственно-бытовыми водами, не должна превышать концентраций, допустимых для сооружений биологической очистки. Допустимая остаточная концентрация загрязнений в производственных сточных водах после локальной очистки должна определяться с учетом концентрации этого вида загрязнения в бытовых сточных водах (или сточных водах других промышленных предприятий). Остаточная концентрация загрязнений, мг/л, в производственных сточных водах может быть определена по формуле

$$S_{пр} = \frac{Q_{гор}}{Q_{пр}} (S_{см} - S_{быт}) + S_{быт}, \qquad (2.3)$$

где $Q_{гор}$ — расход городских сточных вод; $Q_{пр}$ — суммарный расход производственных сточных вод; $S_{быт}$ — концентрация загрязнения в бытовых сточных водах; $S_{см}$ — концентрация загрязняющего вещества в смеси производственных и бытовых сточных вод.

Последняя величина определяется, мг/л:

$$S_{см} = \frac{100 S'_{ст}}{100 - A}, \qquad (2.4)$$

где $S'_{ст}$ — допустимая концентрация загрязняющего вещества в очищенных городских сточных водах; A — эффективность удаления загрязняющих веществ на очистных сооружениях города, % (*табл.* 2.4).

Таблица 2.4. Исходные данные для расчета по формулам (2.3) и (2.4)

Вещество	Эффективность удаления на очистных сооружениях A, %	Концентрация, максимально допустимая для биологической очистки $S_{бо}$, мг/л	Возможная концентрация в бытовых сточных водах $S_{быт}$, мг/л
Алюминий	—	5	0,5
Железо	80	5	1 ... 2
Жиры	70	50	30 ... 50
Калий	60	0,1	—
Медь	80	0,5	0,01 ... 0,03
Никель	50	0,5	—
Фенол	95	15	—
$Хром^{3+}$	80	2,6	—
Цинк	70	1,0	0,02 ... 0,3
Мышьяк	50	0,1	—
Свинец	50	0,1	—
Кобальт	50	1,0	—

Если в результате расчета окажется, что $S_{см} > S_{бо}$, где $S_{бо}$ — максимально допустимая концентрация для биологической очистки, то следует пересчитать $S'_{ст}$ из формулы (2.4), приняв, что $S_{см} = S_{бо}$.

Допустимая концентрация загрязняющих веществ в очищенных городских сточных водах $S'_{ст}$ определяется, учитывая ПДК в контрольном створе водного объекта, а также процессы разбавления и самоочищения (см. гл. 3).

В системы канализации города могут быть приняты производственные сточные воды, которые не вызывают нарушения в работе канализационных сетей и сооружений, обеспечивают безопасность их эксплуатации и могут быть очищены совместно со сточными водами города.

Запрещается сбрасывать вещества, оказывающие разрушающее действие на материал труб и элементы сооружений канализации, а также вещества в концентрациях, препятствующих биологической очистке сточных вод. Также запрещается сбрасывать в систему *канализации нерастворимые масла, смолы и мазут, биологические*

трудно окисляемые органические вещества, минеральные вещества, взвешенные и всплывающие вещества в концентрациях, превышающих 500 мг/л; вещества, для которых не установлены ПДК в воде водных объектов (см. § 2.4).

Категорически запрещается сбрасывать в системы канализации кислоты, горючие примеси, токсичные и растворенные газообразные вещества, способные образовать в системах токсичные газы и другие взрывоопасные и токсичные смеси. Запрещается также сбрасывать в канализационную сеть города производственные сточные воды, имеющие температуру свыше 40°С, pH ниже 6,5 или выше 9, ХПК выше $БПК_5$ более чем в 2,5 раза или $БПК_{полн}$ более чем в 1,5 раза; концентрированные маточные и кубовые растворы; строительный и бытовой мусор.

При расчете допустимых концентраций загрязняющих веществ в производственных сточных водах, принимаемых в систему канализации города, следует руководствоваться следующими требованиями:

а) допустимое содержание органических веществ, оцениваемых по $БПК_5$, должно определяться расчетом. При этом БПК производственных сточных вод не должна вести к превышению БПК поступающих на очистные сооружения городских сточных вод, принятой при проектировании этих сооружений;

б) допустимые концентрации загрязняющих веществ, удаляемых на очистных сооружениях города, должны определяться с учетом условий сброса очищенных сточных вод в водный объект (см. гл. 3).

2.4. Качество воды водных объектов

Охрана водных объектов направлена на обеспечение потребностей в воде и защиту интересов всех отраслей народного хозяйства и культуры, заинтересованных в охране поверхностных вод от загрязнения при условии преимущественного удовлетворения питьевых и бытовых нужд населения. При условии приоритета удовлетворения нужд населения в воде подлежат учету требования любой отрасли народного хозяйства и культуры. При решении вопроса об отведении сточных вод в водный объект и о мерах по его охране от загрязнения следует исходить из степени его загрязненности и водности, которая может создаться или создается у ближайшего расчетного или контрольного пункта (створа) водопользования и далее от источника поступления сточных вод в случае рыбохозяйственного водопользования.

В качестве масштаба для оценки допустимой степени снижения качества поверхностных вод служат требования к составу и свойствам воды и предельно допустимые концентрации (ПДК) веществ в воде водных объектов в соответствии с видом водопользования (питьевого, культурно-бытового, рыбохозяйственного и др.). Водные объекты

следует считать загрязненными, если в расчетном пункте (створе) не соблюдаются установленные для данного вида водопользования требования к составу и свойствам воды и нормативы ПДК, приведенные в «Санитарных правилах и нормах охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами» (именуемые в дальнейшем Правилами).

Действующие в настоящее время Правила служат для предупреждения и устранения существующего загрязнения сточными водами внутренних водных объектов, таких, как реки, ручья, водохранилища, озера, пруды и искусственные каналы, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения и культурно-бытовых нужд населения, для рыбохозяйственных и других целей. В этом документе заложены дифференцированные требования для каждого вида водопользования. В случае одновременного использования воды водного объекта для различных нужд народного хозяйства следует исходить из более жестких требований в ряду одноименных нормативов качества воды.

При использовании Правил следует иметь в виду, что все приведенные в списках загрязняющие вещества подразделены на три группы: по лимитирующему показателю вредности (ЛПВ), соответственно характеру их воздействия на организм человека и внутриводоемные биологические процессы. Разделяют общесанитарный, санитарно-токсикологический и органолептический показатели.

В настоящее время принято, что качество воды водного объекта достигает границы экологического сдвига, если содержание загрязняющих веществ в ней равно одной дозе. Для одного определенного вещества эта доза соответствует предельно допустимой концентрации (ПДК). Для нескольких веществ одного ЛПВ одна доза соответствует

$$\sum_{i=1}^{m} S_i/\text{ПДК}_i \leqslant 1, \qquad (2.5)$$

где S_i — средняя концентрация одного i-го вещества в воде водного объекта; ПДК_i — предельно допустимая концентрация того же вещества; m — общее количество веществ данной группы ЛПВ, находящихся в воде исследуемого водного объекта.

Химический состав воды может характеризоваться очень большим числом показателей, определяющих качество воды применительно к рассматриваемому виду водопользования. С другой стороны, для соблюдения условия формулы (2.5) концентрации отдельных вредных веществ в воде водного объекта должны быть весьма малыми, что может быть обеспечено очень глубокой очисткой сточных вод. Поэтому для допустимого снижения требований к степени очистки необходимо учитывать все факторы, приводящие к снижению

концентрации этих веществ в воде водного объекта (процессы разбавления, самоочищения и др.).

Источники воды для водоснабжения. Пригодность источника для водоснабжения определяется на основании данных его санитарного обследования с учетом результатов гидрогеологических, гидрологических и топографических изысканий. Вода источников водоснабжения не должна содержать нежелательных примесей, которые не могут быть удалены методами обработки, а концентрация загрязнений должна соответствовать эффективности применяемых методов очистки.

Состав и свойства воды водоемов должны соответствовать нормативам в створе, расположенном на проточном водоеме в 1 км выше ближайшего по течению пункта водозабора, а на непроточных водоемах — в 1 км в обе стороны от водозабора. Общие требования к составу и свойствам воды водоемов у пунктов питьевого водопользования приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5. **Общие требования к составу и свойствам воды водоемов у пунктов питьевого водопользования**

Показатели состава и свойств воды водоема	Допустимая норма
Взвешенные вещества	Содержание взвешенных веществ не должно увеличиваться больше чем на 0,25 мг/л
Плавающие примеси	На поверхности воды не должны обнаруживаться плавающие пленки, пятна масел и скопление других примесей
Запахи и привкусы	Вода не должна приобретать запахов и привкусов интенсивностью более 1 балла
Окраска	Не должна обнаруживаться в столбике 20 см
Температура	Летняя температура воды в результате спуска сточных вод не должна повышаться более чем на 3° С по сравнению со среднемесячной температурой самого жаркого месяца за последние 10 лет
Реакция pH	6,5 ... 8,5
Минеральный состав	Не должен превышать по сухому остатку 1000 мг/л, хлоридов 350 мг/л, сульфатов 500 мг/л
Растворенный кислород	Не менее 4 мг/л
Биохимическая потребность в кислороде ($БПК_{полн}$)	Не более 3 мг/л
Возбудители заболеваний	Вода не должна содержать возбудителей заболеваний
ХПК	Не более 15 мг/л

В табл. 2.6 показаны ПДК некоторых вредных веществ в воде источников хозяйственно-питьевого назначения.

Водные объекты для бытовых нужд. В этом пункте приводятся нормы для воды водоемов, которые используются для купания, спорта и отдыха населения, а также водоемы в черте населенных пунктов. Ближайшие к месту выпуска сточных вод пункты водопользования

устанавливаются органами государственного санитарного надзора с обязательным учетом официальных данных о перспективах использования водоема для культурно-бытовых нужд населения. Состав и свойства воды водоемов должны соответствовать нормативам в створе, расположенном на проточных водоемах в 1 км выше ближайшего по течению пункта водопользования, а на проточных водоемах в 1 км в обе стороны от пункта водопользования.

Таблица 2.6. **ПДК некоторых вредных веществ в воде источников хозяйственно-питьевого назначения**

Вещество	ПДК, мг/л	Вещество	ПДК, мг/л
Медь, никель, цинк	0,1	Железо	0,3
Аммиак	2,0	Нефть высокосернистая	0,1
Хлор активный	0,0	Нефть прочная	0,3
Капролактам	1,0	Фенол	0,001
Тетраэтилсвинец	0,0	Дихлорфенол	0,002
Свинец	0,03	Хлорофос	0,05
Бензол	0,5	Сероуглерод	1,0
Анилин	0,1	Нафтеновые кислоты	0,3
Гексахлорбензол	0,05	ДДТ (пестицид)	0,2
Нитраты (по азоту)	45,0		

При спуске сточных вод в черте города первым пунктом водопользования является данный город. В этих случаях требования, установленные к составу и свойствам воды водоема, должны относиться к самим сточным водам.

Требования к качеству воды для купания и спорта нормируются ГОСТ 17.1.5.02—80 «Гигиенические требования к зонам рекреации водных объектов». Основные данные из этого материала приведены в табл. 2.7.

Таблица 2.7. **Гигиенические требования к качеству воды**

Показатель	Требования и нормативы
Плавающие примеси	На поверхности водоема не должны обнаруживаться плавающие пленки, пятна минеральных масел и скопление других примесей
Запах	Не более 1 балла
Окраска	Не должна обнаруживаться в столбике 10 см
pH	6,5 ... 8,5
Растворенный кислород	Не более 4 мг/л
ХПК	» » 30 мг/л
Кишечные палочки:	
для купания	» » 1000 бакт/л
» спорта	» » 10 000 бакт/л

Согласно Правилам определяются дополнительные требования к качеству воды водоемов, используемой для бытовых нужд. Эти требования приведены в табл. 2.8.

Таблица 2.8. Дополнительные требования к качеству воды водоемов, используемых для купания, спорта и отдыха

Показатель	Требования и нормативы
Взвешенные вещества	При спуске сточных вод содержание взвешенных веществ не должно увеличиваться более чем на 0,75 мг/л. Для водоемов, содержащих в межень более 30 мг/л природных минеральных веществ, допускается увеличение содержания взвешенных веществ в воде в пределах 5%
Температура	Летняя температура воды в результате спуска сточных вод не должна повышаться более чем на 3° С по сравнению со среднемесячной температурой самого жаркого месяца года за последние 10 лет
$БПК_{полн}$	Полная потребность воды в кислороде при 20° С не должна превышать 6,0 мг/л
Возбудители заболеваний	Вода не должна содержать возбудителей заболеваний. Сточные воды, содержащие возбудителей заболеваний, должны подвергаться обеззараживанию после предварительной очистки. Отсутствие содержания в воде возбудителей заболеваний обеззараживанием биологически очищенных бытовых вод до коли-индекса не менее 100 в 1 л

Рыбохозяйственные водоемы. Нормативы качества воды водоемов, используемых для рыбохозяйственных целей, устанавливаются применительно к отдельным видам водопользования.

К первому виду водопользования относятся водные объекты, используемые для сохранения и воспроизводства ценных видов рыб, обладающих высокой чувствительностью к кислороду. Ко второму — водные объекты, используемые для всех других рыбохозяйственных целей. Вид рыбохозяйственного использования водного объекта определяется государственными органами рыбоохраны с учетом развития рыбного хозяйства в перспективе. Основные требования к качеству воды рыбохозяйственных водоемов приведены в табл. 2.9.

Во всех случаях границы района смешения сточных вод с водой незарегулированных рек не должны распространяться более чем на $^1/_3$ ширины реки и 500 м вниз по течению. В водохранилищах, озерах, морях граница района смешения должна быть в пределах не более 500 м вниз по течению.

Таблица 2.9. Требования к качеству воды водоемов, используемых для рыбохозяйственной цели

Показатель	Внутренние водоемы		Море	
	Вид рыбохозяйственного использования водоема			
	I	II	I	II
Взвешенные вещества	При спуске сточных вод содержание взвешенных веществ не должно увеличиваться более чем на			
	0,25 мг/л	0,75 мг/л	0,25 мг/л	0,75 мг/л
	Для водоемов, содержащих в межень более 30 мг/л природных минеральных веществ, допускается увеличение содержания взвешенных веществ в воде в пределах 5%			
Плавающие вещества	На поверхности воды водоема не должны обнаруживаться плавающие пленки, пятна масел и скопления других примесей			
Запах, привкус и окраска	Вода не должна приобретать постоянных запахов, привкусов и окраски и сообщать их мясу рыб			
Температура	В результате спуска сточных вод температура воды не должна повышаться более чем на 5° С по сравнению с естественной температурой воды			
Реакция pH	Не должна выходить за пределы 6,5 ...8,5 pH			
Растворенный кислород	В зимний период не должен быть ниже:			
	6,0 мг/л	4,0 мг/л	6,0 мг/л	4,0 мг/л
	В летний период должен быть не ниже 6 мг/л в пробе, отобранной до 12 ч дня			
Биохимическая потребность в кислороде (БПК)	Полная потребность в кислороде (при 20° С) не должна превышать 3 мг/л		Пятисуточная потребность в кислороде (при 20° С) не должна превышать 2 мг/л	
	Если в зимний период содержание растворенного кислорода снижается до вышеуказанных нормативов, то можно допустить сброс в них только тех сточных вод, которые не изменяют БПК воды			
Ядовитые вещества	Не должны содержаться в концентрациях, могущих оказать прямо или косвенно вредное воздействие на рыб и водные организмы, служащие кормовой базой для рыб			

Прибрежные зоны моря. Правила охраны от загрязнения прибрежных вод морей устанавливают три зоны санитарной охраны. Зона водопользования распространяется от берега на расстояние 2 морские мили (1 морская миля = 1852 м). Эта зона используется для купания, спорта и отдыха. Для охраны зоны водопользования от населения устанавливены I и II зоны. Первая из них должна сохранить нормальные условия в зоне водопользования и распространяется на 5 морских миль. Ширина второй зоны санитарной охраны также 5 морских миль.

Основные требования к качеству воды в прибрежной зоне моря приведены в табл. 2.10.

Таблица 2.10. **Требования к качеству воды в прибрежной зоне моря**

Показатель	Зона водопользования	Зона санитарной охраны
Плавающие примеси	Не должны обнаруживаться необыкновенные для морских вод плавающие примеси:	
	на поверхности и в поверхностном слое глубиной 30 см	на поверхности воды
Привкус и запах	Интенсивность необычных для морской воды запахов не должна превышать порога восприятия (2 балла)	
Прозрачность	Не менее чем 30 см	—
Окраска	Не наблюдается в столбике 10 см	Не нормируется
Биохимическая потребность в кислороде ($БПК_5$)	Не более 3,0 мг/л	—
Возбудители заболеваний	Вода не должна содержать возбудителей заболеваний	Не нормируется
Кишечные палочки	Не более 1000 бакт/л	Определяется условиями спуска сточных вод

ГЛАВА 3

ПРОГНОЗ КАЧЕСТВА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

3.1. Исходные данные

При спуске в водный объект сточных вод, содержащих загрязняющие вещества, качество воды в нем ухудшается. Концентрация этих веществ не остается постоянной, она изменяется вследствие разбавления, а также биологических, физико-химических и химических процессов. В реках эти процессы происходят вдоль и поперек реки, а в непроточных водных объектах (озерах и т. д.) — по всему пространству. Задача инженерных расчетов прогнозирования качества воды состоит в том, чтобы определить концентрацию загрязняющих веществ в отдельных точках или створах одного объекта.

В качестве примера на рис. 3.1 приведен график изменения концентрации загрязняющего вещества вдоль реки. Предполагается, что в створе А спускается в реку загрязняющее вещество с концентрацией S_A, причем выше створа А река не загрязнена и имеет только фоновую концентрацию $S_ф$ (естественное загрязнение). Далее, вниз по течению, под влиянием разбавления и превращения концентрация рассматриваемого загрязняющего вещества уменьшается до поступления загрязнения $S_Б$. В створе Б эти концентрации суммируются, и под влиянием процессов самоочищения концентрация

опять уменьшается. Если, например, в створе В находится водопользователь (водозабор), для которого установлена предельная допустимая концентрация (ПДК) данного вещества, то следует обратным путем определить в створах А и Б предельно допустимый сброс (ПДС). Таким образом, водоохранные мероприятия для реки, которая находится под воздействием нескольких выпусков сточных вод, требуется решить комплексно.

Все загрязняющие вещества можно разделить на две группы: консервативные и неконсервативные. Консервативные вещества (соли тяжелых металлов и пр.) подвергаются одному лишь разбавлению. Неконсервативные могут быть в растворенном, коллоидном и во взвешенном состояниях, кроме разбавления они подвергаются химическим, физико-химическим и биологическим процессам. Совокупность всех процессов, изменяющих характер загрязняющих веществ, называют процессами самоочищения водоемов.

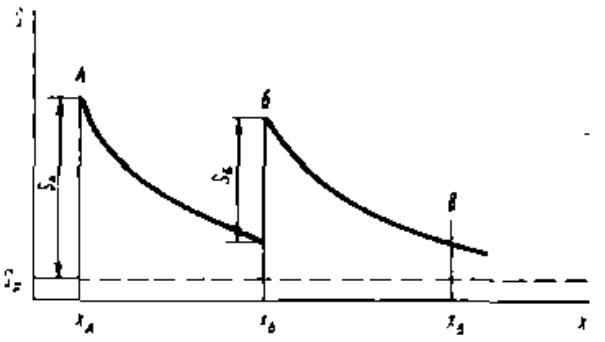


Рис. 3.1. Изменение качества воды вдоль реки

Расчеты качества воды водных объектов требуется проводить при проектировании новых выпусков сточных вод или очистных сооружений, водоприемников и в тех случаях, когда изменяется гидрологический режим водоема (регулирование стока, переброска расходов и т. д.).

Эти расчеты обязательны, когда в результате строительства или изменения существующего режима может измениться качество воды. Особенно важны они на перспективу развития промышленности, сельского хозяйства и населения.

При составлении проекта канализации, очистки, обезвреживания или обеззараживания сточных вод любого объекта следует учесть: санитарное состояние водного объекта в районе принимаемых мероприятий; санитарную ситуацию выше и ниже спуска сточных вод этого объекта; использование водного объекта для хозяйственно-питьевого водоснабжения, культурно-бытовых нужд населения, для рыбохозяйственных и других целей в настоящее время и на перспективу.

Все расчеты прогнозирования качества воды водного объекта должны быть конкретными и достоверными по характеру информационных источников и методов их получения.

При расчете качества воды водных объектов исходные данные можно подразделить на три группы:

1. Гидрологические и гидравлические характеристики водного объекта. 2. Характеристика источника загрязнения. 3. Требования

к качеству воды водного объекта в расчетных (или контрольных) пунктах водопользования.

Гидрологические и гидравлические характеристики водного объекта. В группу гидрологических и гидравлических исходных данных входят расчетные расходы, скорости ветровых течений и гидравлические параметры ложа водного объекта, при помощи которых определяется результат формирования качества воды. Основными гидрологическими данными при расчете разбавления сточных вод в реках являются расчетный расход реки и уровень воды. Согласно Правилам расчеты проводятся для водных объектов питьевого и культурно-бытового водопользования с учетом следующих условий: для незарегулированных рек — наименьший среднесуточный расход года 95%-ной обеспеченности; для зарегулированных рек — установленный, гарантированный расход ниже плотины и при обязательном исключении возможности обратных течений в нижнем бьефе.

Для водных объектов рыбохозяйственного назначения расчетный расход определяется с учетом следующих гидрологических условий: для незарегулированных рек расчет производится не более 1/3 минимального суточного расхода воды года 95 %-ной обеспеченности; для зарегулированных рек — не более 1/3 минимального установленного гарантийного расхода ниже плотины (санитарный пропуск).

Расход 95 %-ной обеспеченности вычисляют по формуле

$$p = \frac{m - 0{,}3}{N + 0{,}4} 100, \tag{3.1}$$

где p — заданная степень обеспеченности, %; m — порядковый номер каждого наименьшего среднесуточного расхода, расположенного в убывающем порядке; N — число членов ряда, т. е. число лет наблюдений.

Для $p = 95$ % получаем из (3.1) формулу

$$m = 0{,}95(N + 0{,}4) + 0{,}3. \tag{3.2}$$

Для расчета процесса разбавления необходимо располагать планом водного объекта в изобатах, чтобы определить при расчетном расходе площадь зеркала, глубину и ширину объекта. Располагая планом реки, можно также оценить изрезанность береговой линии, обусловливающую наличие или отсутствие застойных вод. В тех случаях, когда расчетный отрезок реки состоит из отдельных участков с различными гидравлическими параметрами, его следует разбить на участки с более или менее одинаковыми гидравлическими параметрами. Для всего расчетного отрезка эти параметры определяются как средневзвешенные величины по длине отдельных участков. Если расчет ведется без разделения реки на отдельные участки, то вычисляются средние величины морфометрических и гидравлических элементов для той части реки, для которой намечено выполнение

расчетов. Все гидравлические параметры определяются при расчетном расходе.

В гидравлических расчетах коэффициент Шези характеризует интенсивность турбулентного перемешивания водных масс. Более интенсивное перемешивание соответствует меньшим по значениям и, наоборот, при больших величинах коэффициента Шези перемешивание оказывается более слабым.

Коэффициент Шези при наличии измеренных гидравлических уклонов I вычисляют по формуле

$$C=\frac{v}{\sqrt{RI}}, \qquad (3.3)$$

где v — средняя скорость потока, м/с; $R=A/\varkappa$ — гидравлический радиус, м; A — площадь живого сечения потока, м^2; $\varkappa$ — смоченный периметр, м.

При отсутствии данных об уклонах коэффициент Шези может быть определен по формуле Павловского

$$C=\frac{1}{n_ш}R^y, \qquad (3.4)$$

где $n_ш$ — коэффициент шероховатости русла реки; y — показатель, являющийся функцией коэффициента шероховатости и гидравлического радиуса.

Коэффициент $n_ш$ определяется в зависимости от характера русла:

Реки с песчаным руслом, ровным, без растительности, с незначительным перемещением донных наносов	0,020 ... 0,023
Реки с песчаным извилистым руслом, с большими перемещениями донных наносов	0,020 ... 0,023
Пойма, заросшая травой	0,023 ... 0,033
Пойма, заросшая кустарником или редким лесом	0,033 ... 0,045
Пойма, заросшая лесом	0,045 ... 0,060

В первом приближении показатель y определяется по формулам:

$$R<1 \text{ м}, \ y=1{,}5\sqrt{n_ш}; \qquad (3.5)$$

$$R>1 \text{ м}; \ y=1{,}3\sqrt{n_ш}. \qquad (3.6)$$

В условиях широких рек можно принять $R=H$, т. е. гидравлический радиус R равен средней глубине реки. В этом случае $\varkappa=B$, где B — средняя ширина реки.

Зная величину коэффициента Шези, динамическая скорость определяется по формуле

$$U_ф=\frac{v}{C}\sqrt{g}, \qquad (3.7)$$

где g — ускорение свободного падения.

В непроточных водных объектах наиболее мощными бывают ветровые течения, которые влияют на процесс разбавления, поэтому расчет средней скорости течения рекомендуется провести по приближенной формуле

$$v_1 = kW_2\sqrt{3+10h}, \tag{3.8}$$

где k — коэффициент, зависящий от коэффициента Шези:

C	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$k \cdot 10^3$	0,10	0,18	0,27	0,34	0,42	0,50	0,55	0,60	0,64

W_2 — скорость ветра на высоте 2 м над водной поверхностью; h — средняя для рассматриваемого участка высота волны 1 %-ной обеспеченности в данной системе волн.

Характеристика источника загрязнения. В зависимости от происхождения, вида и качественной характеристики примесей сточные воды подразделяются на три основные категории: бытовые, производственные и дождевые. Состав и количество загрязняющих веществ бытовых сточных вод сравнительно постоянные. Количественный и качественный состав минеральных, органических и химических примесей производственных сточных вод разнообразен, он зависит от отрасли промышленности и технологического процесса. Более подробные данные о составе и свойствах сточных вод приведены в гл. 1.

Основными исходными данными источника загрязнения являются расход сточных вод и концентрация отдельных показателей загрязнения. После биологической очистки сточных вод предполагаем, что эти показатели постоянны во времени. Иногда при инженерных расчетах концентрации отдельных показателей загрязнения при заданном расходе сточных вод после очистки определяются обратным путем, т. е. требуемая степень очистки сточных вод (см. § 3.2) берется в зависимости от санитарного состояния водного объекта.

Определенная неравномерность во времени расходов и показателей загрязнения наблюдается при спуске в водный объект дождевых вод из коллекторов ливневой канализации. Обычно наблюдается закономерность, что в начальный момент поступления ливневых вод расход и концентрации загрязняющих веществ равняются нулю. Далее в зависимости от интенсивности дождя и площади водозабора они увеличиваются довольно быстро во времени и достигают максимального значения. Потом в зависимости от продолжительности дождя расход и концентрация загрязняющих веществ уменьшаются, поэтому в первом приближении можно предполагать, что эпюры поступления загрязняющих веществ в водный объект ливневыми водами имеют треугольную форму. Такой же нестационарный

характер поступления сточных вод в водоем наблюдается при аварийном спуске загрязнения, эпюра которого иногда имеет прямоугольную форму.

Требования к качеству воды водного объекта в расчетных пунктах водопользования. Требования к качеству воды водного объекта приведены в § 2.4 в зависимости от вида водопользования. Кроме нормативных материалов необходимо определить также санитарное состояние водного объекта выше и ниже выпуска сточных вод, т. е. количество выпусков и их влияние на качество воды. К этим данным относятся концентрации отдельных показателей загрязнения в воде водного объекта в месте проектируемого выпуска, а также данные о выпусках (концентрации загрязняющих веществ и расход сточных вод), которые находятся ниже по течению от проектируемого. Данные других выпусков требуются потому, что прогноз качества воды должен быть комплексным для целого водного объекта. В случаях, когда реки имеют притоки, следует определить дополнительно загрязненность их воды. В состав исходных данных входит также вид водопользования водного объекта в настоящее время и в перспективе.

Конструкции выпусков сточных вод. Условия смешения и разбавления сточных вод с водой водного объекта зависят от применяемых типов выпусков, которые могут быть сосредоточенные или рассеивающие, береговые или русловые. Конструкция и размеры оголовков выпуска могут быть различные, причем их выбор зависит от морфологических, гидродинамических и гидравлических особенностей водного объекта. Имеются конструкции оголовков из сборного и монолитного железобетона.

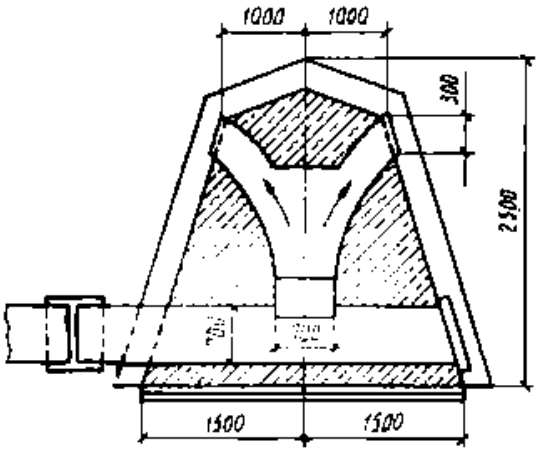


Рис. 3.2. Оголовок конструкции Н.И. Знаменского

Оголовок выпуска является сосредоточенным, если спуск сточных вод осуществляется в одной точке, и рассеивающим, когда это происходит в нескольких точках. Как правило, сосредоточенные выпуски применяют на малых и средних реках, рассеивающие — на больших реках и на непроточных водоемах в зависимости от гидродинамической ситуации водного объекта. Рассеивающие выпуски обеспечивают лучшее перемешивание сточных вод с водой водного объекта. Для этой цели оголовки выпуска в реках рекомендуется размещать в зоне повышенной турбулентности течения.

На рис. 3.2 приведен оголовок конструкции Н. И. Знаменского, размеры которого зависят от расхода сточных вод. Оголовок

такого типа применяется в качестве руслового сосредоточенного выпуска. Фрагмент руслового рассеивающего выпуска показан на рис. 3.3.

В зависимости от глубины воды, толщины ледяного покрова и наличия судоходства подводную часть выпуска укладывают в траншею или непосредственно на дно с закреплением против размыва каменной наброской. Выпуски проектируются в соответствии с требованиями судоходства, с режимами уровней воды и геологии дна русла. Для обеспечения отрицательной плавучести трубопровода

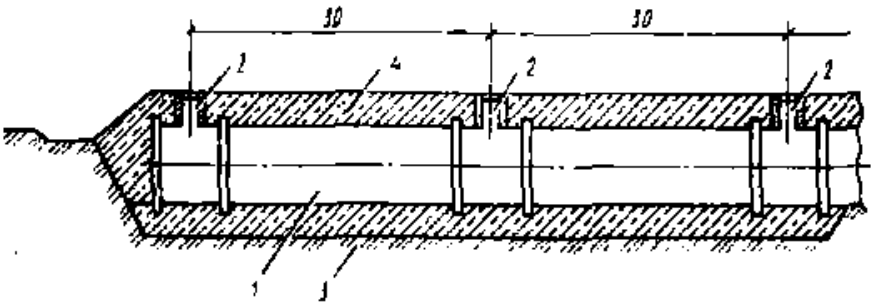


Рис. 3.3. Продольный профиль оголовка рассеивающего выпуска:
1 — труба; 2 — выпуски оголовка; 3 — подготовка из щебня; 4 — каменная наброска

необходимо предусматривать бетонные противовесы с таким расчетом, что при заполнении 0,5 общего объема трубопровода воздухом выпуск сточных вод должен быть устойчивым. Кроме этого требуется учесть возможные деформации русла, движения наносов и др., чтобы обеспечить долговременную, непрерывную работу выпуска. Не допускается изменять гидравлический режим потока стеснением площади живого сечения трубопроводами и оголовками выпуска.

За оголовками сосредоточенных выпусков сточных вод следует предусматривать укрепление русла против размыва. Для этой цели применяются железобетонные плиты, каменные кладки и прочие материалы в зависимости от размывающей способности потока.

Наиболее эффективной конструкцией рассеивающего выпуска является трубчатый диффузор, имеющий многочисленные боковые отверстия круглого сечения или в виде щелей, через которые вытекает сточная вода при минимальных потерях напора. Конструкция рассеивающего выпуска должна быть такая, чтобы вдоль выпуска неравномерность распределения расхода была бы минимальная. Такое требование обеспечивается изменением диаметра диффузионной трубы, площади выходных сечений и шага оголовков. Длина выпуска в рассеивающей части определяется из условия, что в районе водопользования были бы выполнены требования к качеству воды.

3.1. Расчет качества воды рек

Теоретические основы. В основу расчетов качества воды водных объектов могут быть положены: полуэмпирическая теория турбулентной диффузии; теория турбулентной диффузии с конечной скоростью; эмпирические формулы расчета распространения вещества в турбулентном потоке.

Наиболее разработаны полуэмпирическая теория турбулентной диффузии и эмпирические методы. Уравнение турбулентной диффузии, как правило, выражает закон сохранения вещества, и в его основу положены следующие предположения: 1) жидкость является несжимаемой; 2) число Рейнольдса столь велико, что от учета молекулярного эффекта диффузии можно отказаться; 3) количество вещества, выделяемого в единицу времени на единицу объема, крайне мало и его влиянием на турбулентность можно пренебречь.

В общем случае уравнение дисперсии (диффузии) для неконсервативного загрязняющего вещества выражается в виде

$$\frac{\partial S}{\partial t}+v_x\frac{\partial S}{\partial x}+v_y\frac{\partial S}{\partial y}+v_z\frac{\partial S}{\partial z}-D_x\frac{\partial^2 S}{\partial x^2}-D_y\frac{\partial^2 S}{\partial y^2}-D_z\frac{\partial^2 S}{\partial z^2}+F(S)=0, \qquad (3.9)$$

где S — концентрация загрязняющего вещества в точке водоема с координатами x, y, z; v_x, v_y, v_z — скорость течения в направлениях x, y, z; D_x, D_y, D_z — коэффициенты дисперсии в направлениях x, y, z; $F(S)$ — функция неконсервативности загрязняющего вещества.

Уравнение (3.9) характеризует процесс распространения загрязняющего вещества как в реках, так и в непроточных водных объектах. В этом уравнении характеризуется нестационариость явления, скорость распространения загрязнения с коэффициентами дисперсии и конвективная диффузия. При стационарном режиме спуска сточных вод можно принимать, что $\partial S/\partial t = 0$. В условиях стационарного режима спуска сточных вод в уравнении (3.9) $\partial^2 S/\partial x^2 = 0$ и процесс в реках при $v_y = v_z = 0$ описывается уравнением

$$v_x=\frac{\partial S}{\partial x}-D_y\frac{\partial^2 S}{\partial y^2}-D_z\frac{\partial^2 S}{\partial z^2}+F(S)=0. \qquad (3.10)$$

Это уравнение дает распределение концентрации загрязняющих веществ в направлениях x, y, z. Для рек обычно принимается, что ширина реки гораздо больше глубины $B >> H$. В этом случае можно

не учитывать дисперсию в вертикальном направлении, т. е. $\partial^2 S/\partial z^2 = 0$. Тогда уравнение (3.10) примет вид

$$v_x \frac{\partial S}{\partial x} - D_y \frac{\partial^2 S}{\partial y^2} + F(S) = 0. \tag{3.11}$$

Для консервативного вещества загрязнения в уравнениях (3.9), (3.10) и (3.11) член $F(S) = 0$.

При расчете кислородного режима водных объектов за основу принимается не концентрация растворенного кислорода в воде, а дефицит кислорода, который определяется как

$$D = C_H - C, \tag{3.12}$$

где C — фактическая концентрация растворенного кислорода в воде; $C_т$ — растворимость кислорода при данной температуре. Дефицит кислорода описывается дифференциальным уравнением

$$\frac{\partial D}{\partial t} + v_x \frac{\partial D}{\partial x} + v_y \frac{\partial D}{\partial y} + v_z \frac{\partial D}{\partial z} - D_x \frac{\partial^2 D}{\partial x^2} - D_y \frac{\partial^2 D}{\partial y^2} - D_z \frac{\partial^2 D}{\partial z^2} - k_1 S + k_2 D = 0, \tag{3.13}$$

где k_1 — коэффициент скорости окисления органического вещества; k_2 — коэффициент скорости реаэрации; S — концентрация органических загрязнений по БПК.

В условиях рек при стационарном спуске сточных вод уравнение кислородного режима [аналогично уравнению (3.11)] выражается в виде

$$v_x \frac{\partial D}{\partial x} - D_y \frac{\partial^2 D}{\partial y^2} - k_1 S + k_2 D = 0. \tag{3.14}$$

Начальные условия при решении уравнений дисперсии в первом приближении можно принять

$$S = \text{const при } t = 0. \tag{3.15}$$

Если концентрация загрязняющего вещества добавочного разбавления незначительна по сравнению с концентрацией сточных вод, можно принять начальное условие в виде

$$S = 0 \text{ при } t = 0. \tag{3.16}$$

Граничные условия уравнения дисперсии можно подразделить на следующие подгруппы: на граничащей поверхности, определяющие наличие или отсутствие обмена веществ через эту поверхность; начальном сечении спуска сточных вод.

Если ложе водоема совершенно непроницаемо для загрязняющего вещества, имеем

$$\frac{\partial S}{\partial n} = 0, \tag{3.17}$$

где n — внешняя нормаль к граничащей поверхности.

Граничные условия в начальном сечении можно выразить следующей зависимостью:

$$S=f(t) \text{ при } x=0 \text{ и } t\geq 0. \tag{3.18}$$

Стационарный спуск сточных вод. Процесс разбавления в реках может быть рассмотрен в виде плоской задачи, который описывается для неконсервативных веществ уравнением (3.11). При спуске сточных вод с помощью сосредоточенного берегового выпуска в реку происходит распространение загрязняющих веществ согласно рис. 3.4. Выпуск в данном случае находится в точке с координатами $x=0$ и $y=-B/2$. Эпюра распределения концентрации загрязняющих веществ деформируется вдоль течения, т. е. в направлении координаты x, и максимальная концентрация находится в зоне правого берега. Такая деформация эпюры распределения концентрации доходит до створа полного смешения (равномерное распределение концентрации по всему живому сечению потока), где концентрация определяется формулой

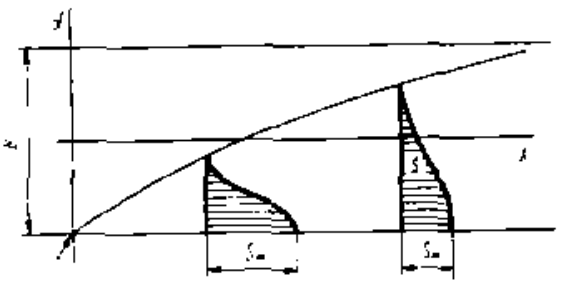


Рис. 3.4. Расчетная схема спуска сточных вод из берегового выпуска

$$S_0=\frac{qS_{ст}+QS_p}{q+Q}, \tag{3.19}$$

где q и Q — расходы сточных вод и воды в реке, м^3/с; $S_{ст}$ — концентрация загрязняющего вещества сточной жидкости; S_p — то же, в воде водотока выше выпуска.

Предположим, что выпуск сточных вод находится на берегу реки (см. рис. 3.4), тогда концентрация неконсервативного загрязняющего вещества определяется по формуле [решение уравнения (3.11)]

$$S=\frac{qS_{ст}}{H\sqrt{\pi v D_y x}}\cdot\frac{1}{\operatorname{erf}\left(\dfrac{B\sqrt{v}}{2\sqrt{D_y x}}\right)}\exp\left(-\frac{\left(y+\dfrac{B}{2}\right)^2}{4D_y x}-k_1\frac{x}{v}\right)+S_p, \tag{3.20}$$

где v — средняя скорость потока; D_y — коэффициент дисперсии в поперечном направлении, м^2/с; k_1 — коэффициент неконсервативности;

$\operatorname{erf}(z)=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^z e^{-\xi^2}\,d\xi$ — функции ошибок, причем $\operatorname{erf}(-z)=-\operatorname{erf}(z)$.

Максимальная концентрация, исходя из формулы (3.20), может быть в данных условиях определена как (см. рис. 3.4)

$$S_{max}=\frac{qS_{CT}}{H\sqrt{\pi v D_y x}}\frac{1}{erf\left(\frac{B\sqrt{v}}{2\sqrt{D_y x}}\right)}e^{-k_1\frac{x}{v}}+S_p. \qquad (3.21)$$

Функция ошибок $erf(z)$ в зависимости от z определяется согласно данным, приведенным в табл. 3.1.

Таблица 3.1. **Функция ошибок** $erf(z)=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^z e^{-\xi^2}d\xi$

z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,00000	01128	02256	03384	04511	05637	06762	07886	09008	10128
0,1	11246	12362	13476	14587	15695	16800	17901	18999	20094	21184
0,2	22270	23352	24430	25502	26570	27633	28690	29742	30788	31828
0,3	32863	33891	34913	35928	36930	37938	38933	39921	40801	41874
0,4	42839	43797	44747	45689	46622	47548	48466	49374	50275	51167
0,5	0,52050	52924	53790	54646	55494	56332	57162	57982	58792	59994
0,6	60386	61168	61941	62705	63459	64203	64938	65663	66378	67084
0,7	67780	68467	69143	69810	70468	71116	71754	72382	73001	73610
0,8	74210	74800	75381	75952	76514	77067	77610	78144	78669	79184
0,9	79691	80188	80677	81156	81627	82089	82542	82987	83423	83851
1,0	0,84270	84681	85084	85478	85865	86244	86614	86977	87333	87680
1,1	88020	99353	88679	88997	89308	89612	89910	90200	90484	90761
1,2	91031	91296	91553	91805	92050	92290	92524	92751	92973	93190
1,3	93401	93606	93806	94002	94191	94376	94556	94731	95902	95067
1,4	95228	95385	95538	95686	95830	95970	96105	96237	96365	96490
1,5	0,96610	96728	96841	96952	97059	97162	97263	97360	97455	97546
1,6	97635	97721	97804	97884	97962	98038	98110	98181	98249	98315
1,7	98379	98441	98500	98558	98614	98667	98719	98769	98817	98864
1,8	98909	98952	98992	99035	99074	99111	99147	99182	99216	99248
1,9	99279	99309	99338	99366	99392	99418	99443	99466	99489	99511
2,0	0,99532	99552	99572	99591	99609	99626	99642	99658	99673	99688
2,1	99702	99716	99728	99741	99752	99764	99775	99785	99795	99805
2,2	99814	99822	99831	99839	99846	99854	99861	99867	99874	99880
2,3	99886	99891	99897	99902	99906	99911	99916	99920	99924	99928
2,4	99931	99935	99938	99941	99944	99947	99950	99952	99955	99957
2,5	0,99959	99961	99963	99965	99967	99969	99971	99972	99974	99975
2,6	99976	99978	99979	99980	99981	99982	99983	99984	99985	99986
2,7	99987	99987	99988	99989	99989	99990	99991	99991	99992	99992
2,8	99992	99993	99993	99994	99994	99994	99995	99995	99995	99996
2,9	99996	99996	99996	99997	99997	99997	99997	99997	99998	99998
3,0	0,99998	99998	99998	99998	99998	99998	99998	99999	99999	99999

Коэффициент дисперсии D_y в формулах (3.20) и (3.21) для небольших рек шириной B до 50 ... 60 м предлагается определить по формуле

$$D_y = 41{,}6 \frac{RU_*}{\sqrt{\mathrm{Re}}}, \tag{3.22}$$

где R — гидравлический радиус, м; v — динамическая скорость потока, определяемая по формуле (3.7), м/с; $\mathrm{Re} = Rv/\nu$ — число Рейнольдса.

Для рек шириной B>60 м коэффициент поперечной дисперсии следует определить по формуле

$$D_y = \frac{Hv}{3524}\left(\frac{B}{H}\right)^{1{,}378}. \tag{3.23}$$

В настоящее время широко применяется для прогнозирования качества воды рек метод И. Д. Родзиллера. По этому методу определяется так называемая кратность разбавления сточных вод в максимально загрязненной струе при сбросе их через сосредоточенный выпуск по формуле

$$n = \frac{q + \gamma Q}{q} \tag{3.24}$$

или, если определить через концентрацию, имеем

$$n = \frac{S_{ст} - S_р}{S_{max} - S_р}, \tag{3.25}$$

где γ — коэффициент смешения, показывающий, какая часть расхода воды смешается со сточной жидкостью в максимально загрязненной струе в данном створе (на расстоянии x от выпуска).

Используя формулу (3.25), максимальная концентрация загрязняющего вещества определяется как

$$S_{max} = \frac{S_{ст} - (n-1)S_р}{n}. \tag{3.26}$$

Коэффициент смешения в формуле (3.24), согласно методике И. Д. Родзиллера, можно определить по формуле

$$\gamma = \frac{1 - e^{-\alpha\sqrt[3]{x}}}{1 + \frac{Q}{q}e^{-\alpha\sqrt[3]{x}}}, \tag{3.27}$$

где x — расстояние от створа выпуска до рассматриваемого створа, м; α — коэффициент, учитывающий гидравлические факторы в реке.

Коэффициент α определяется по формуле

$$\alpha = \varphi\xi\sqrt{\frac{D}{q}}, \tag{3.28}$$

где φ — коэффициент извилистости реки; $D = gHv/(37n_ш^2C^2)$ — коэффициент турбулентной диффузии; $n_ш$ — коэффициент шероховатости русла реки; C — коэффициент Шези; ξ — коэффициент, зависящий от местоположения выпуска, и принимается $\xi = 1$ — береговой выпуск, $\xi = 1{,}5$ — выпуск в середине реки.

Исходя из определения кратности разбавления (3.25) формула (3.21) примет вид

$$n = \left(1 - \frac{S_р}{S_{ст}}\right)\frac{H\sqrt{\pi v D_y x}}{q}\operatorname{erf}\left(\frac{B\sqrt{v}}{2\sqrt{D_y x}}\right)e^{k_1\frac{x}{v}}. \tag{3.29}$$

На основании формулы (3.29) разработана номограмма (рис. 3.5), позволяющая ускорить процесс определения кратности разбавления.

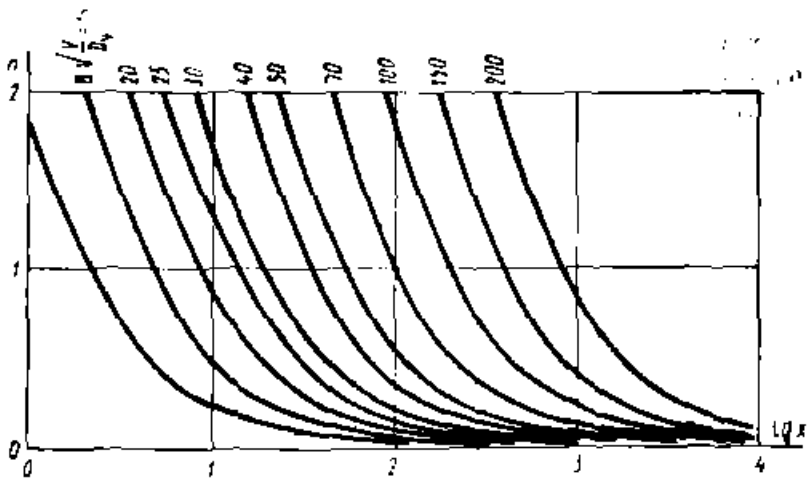


Рис. 3.5. Номограмма для определения кратности разбавления при выпуске сточных вод с берега реки

Если русловый выпуск расположен на расстоянии b от берега, то кратность разбавления определяется по формуле

$$n = \left(1 - \frac{S_р}{S_{ст}}\right)\frac{H\sqrt{\pi v D_y x}}{q}\left[\operatorname{erf}\left(\frac{b\sqrt{v}}{2\sqrt{D_y x}}\right) + \operatorname{erf}\left(\frac{(B-b)\sqrt{v}}{2\sqrt{D_y x}}\right)\right]e^{k_1\frac{x}{v}}. \tag{3.30}$$

При местоположении выпуска в середине реки $b = B/2$ из формулы (3.30) получим следующее выражение:

$$n=\left(1-\frac{S_p}{S_{ст}}\right)\frac{2H\sqrt{\pi v D_y x}}{q}\,\mathrm{erf}\left(\frac{B\sqrt{v}}{4\sqrt{D_y x}}\right)e^{k_1\frac{x}{v}}. \qquad (3.31)$$

При определении концентрации консервативных загрязняющих веществ в последних формулах следует принять $k_1 = 0$.

Нестационарный спуск сточных вод. В практике очень часто встречается нестационарный спуск сточных вод. Так, например, спуск дождевых вод, аварийный спуск промышленных сточных вод и др. При этом загрязнение спускается в реку либо кратковременно, либо по определенному закону. Аварийный спуск иногда имеет прямоугольную форму, спуск дождевых вод — треугольную форму и т. д. При решении такой задачи предполагают, что полное перемешивание загрязняющего вещества и водных масс реки происходит в начальном створе. Это предположение справедливо для небольших рек. При спуске в большие реки следует учитывать поперечное распределение концентрации загрязняющего вещества.

Если предположить, что полное перемешивание происходит в створе выпуска, то средняя концентрация вещества в воде водотока определяется по формуле (3.19). В этих условиях в створе выпуска сточных вод $S/S_0 = 1$ и по мере удаления от выпуска указанное отношение уменьшается, т. е. волна загрязнения деформирует вдоль реки.

Принимаем, что сточная вода спускается согласно прямоугольной эпюре продолжительности τ. В этом случае ниже от выпуска можно *определить в конкретном створе* $x = const$ *изменения во времени* волны загрязнения по формуле

$$\frac{S}{S_0}=\frac{1}{2}\left\{\exp\frac{x}{2D_x}\left(v-\sqrt{v^2+4k_1D_x}\right)\left[\mathrm{erf}\,c\left(\frac{x-vt}{2\sqrt{D_x t}}\right)-\right.\right.$$

$$\left.\left.-\mathrm{erf}\,c\left(\frac{x-v(t-\tau)}{2\sqrt{D_x(t-\tau)}}\right)\right]\right\}, \qquad (3.32)$$

где D_x — коэффициент продольной дисперсии; τ — продолжительность спуска сточных вод; $\mathrm{erf}\,c(z) = 1 - \mathrm{erf}(z)$ и $\mathrm{erf}(z)$ определяется согласно данным табл. 3.1.

Для расчета изменения концентрации консервативного загрязняющего вещества по длине водотока в формуле (3.32) следует принять $k_1 = 0$.

Максимальная концентрация в заданном створе имеет место при $t = x/v - \tau/2$. Таким образом, изменение вдоль водотока пика волны загрязнения определяется как

$$\left(\frac{S}{S_0}\right)_{max} = \frac{1}{2}\left\{\exp\frac{x}{2D_x}\left(v-\sqrt{v^2+4k_1D_x}\right)x\right.$$

$$\left.\times\left[\operatorname{erf}c\left(\frac{-v\tau}{4\sqrt{D_x\left(\frac{x}{v}+\frac{\tau}{2}\right)}}\right)-\operatorname{erf}c\left(\frac{v\tau}{4\sqrt{D_x\left(\frac{x}{v}-\frac{\tau}{2}\right)}}\right)\right]\right\}. \qquad (3.33)$$

Для определения максимальной концентрации консервативного загрязняющего вещества в каждом конкретном створе на расстоянии x от места выпуска можно использовать номограмму, приведенную на рис. 3.6. Эта номограмма составлена в координатах

$$\left(\frac{S}{S_0}\right)_{max} = f\left(\frac{v}{\sqrt{D_x}}\right) \text{ при } \frac{x}{v\tau^2}+\frac{1}{2\tau}=\text{const}.$$

В случае неконсервативного вещества загрязнения относительную максимальную концентрацию следует умножить на величину

$$\exp\frac{x}{2D_x}\left(v-\sqrt{v^2+4k_1D_x}\right).$$

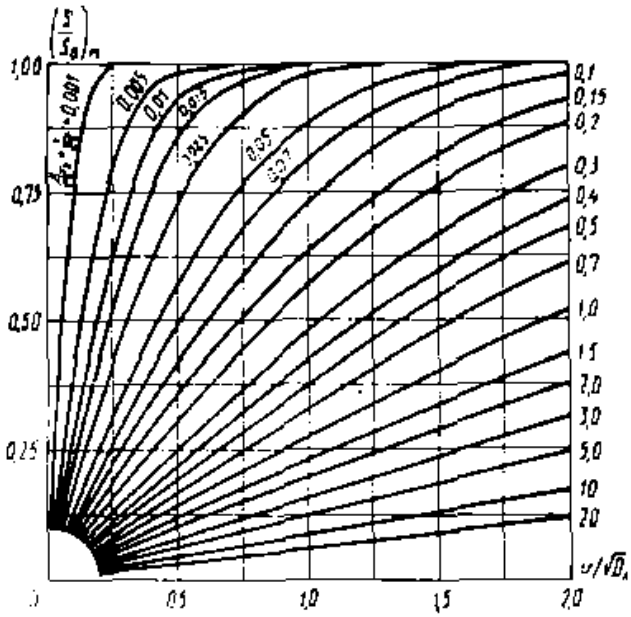


Рис. 3.6. Номограмма для определения (S/S_0) в случае прямоугольной эпюры спуска загрязнения

Предлагаемые формулы (3.32) и (3.33) действительны только в том случае, если расход по длине водотока остается постоянным.

Коэффициент продольной дисперсии D_x в формулах (3.32) и (3.33) можно определить по формуле

$$D_x = 16R_*u\left(\frac{v}{U_*}\right)^{1,25}, \qquad (3.34)$$

где D_x определяется в $м^2/с$, если R — гидравлический радиус, м; u_* — динамическая скорость, определяемая по формуле (3.7), м/с; v — средняя скорость потока, м/с.

При произвольной эпюре спуска сточных вод решение поставленной задачи затруднено, и эти решения приведены в специальной литературе.

Кислородный режим реки. Дифференциальное уравнение для расчета кислородного режима реки (3.14) учитывает, что спуск органических загрязнений стационарный. При этом учитывается процесс окисления органических веществ и реаэрации.

Согласно вышеприведенным схемам процесса разбавления (см. рис. 3.4) предлагается определить максимальный дефицит кислорода по следующим формулам:

выпуск сточных вод находится на берегу реки

$$D=\left\{D_{ст}\exp\left(-k^2\frac{x}{v}\right)+S_{ст}\frac{k_1}{k_2-k_1}\left[\exp\left(-k_1\frac{x}{v}\right)-\right.\right.$$

$$\left.\left.-\exp\left(-k_2\frac{x}{v}\right)\right]\right\}\frac{q}{H\sqrt{\pi v D_y x}}\frac{1}{\left(\operatorname{erf}\frac{B\sqrt{v}}{2\sqrt{D_y x}}\right)}, \qquad (3.35)$$

выпуск сточных вод находится на расстоянии b от берега

$$D=\left\{D_{ст}\exp\left(-k_2\frac{x}{v}\right)+S_{ст}\frac{k_1}{k_2-k_1}\left[\exp\left(-k_1\frac{x}{v}\right)-\right.\right.$$

$$\left.\left.-\exp\left(-k_2\frac{x}{v}\right)\right]\right\}\frac{q}{H\sqrt{\pi v D_y x}}\frac{1}{\operatorname{erf}\left(\frac{b\sqrt{v}}{2\sqrt{D_y x}}\right)+\operatorname{erf}\left(\frac{(B-b)\sqrt{v}}{2\sqrt{D_y x}}\right)}, \qquad (3.36)$$

где $D_{ст}$ — дефицит кислорода сточной жидкости; k_1 — коэффициент скорости биохимического потребления кислорода, 1/с; k_2 — коэффициент скорости реаэрации, 1/с.

В зимних условиях следует принять в формулах (3.35) и (3.36) $k_2=0$.

Процессы биохимического потребления кислорода и реаэрации происходят достаточно медленно, поэтому на небольших расстояниях от выпуска дефицит кислорода следует рассматривать как консервативное загрязняющее вещество, которое подвергается только разбавлению.

При определении дефицита кислорода в условиях нестационарного режима спуска сточных вод предполагается, что водные массы и загрязняющие вещества полностью перемешиваются в створе спуска. Учитывая, что в начальном сечении дефицит кислорода выражается по формуле

$$D_0=\frac{qD_{ст}}{q+Q}, \qquad (3.37)$$

при выпуске сточных вод по прямоугольной эпюре дефицит кислорода вдоль реки определяется по формуле

$$\frac{D}{D_a}=\frac{1}{2}\left[\left(1-\frac{k_1}{k_2-k_1}\frac{S_a}{D_a}\right)\exp\frac{x}{2Dx}\left(v-\sqrt{v^2+4k_2D_x}\right)+\right. \tag{3.38}$$

$$\left.+\frac{k_1}{k_2-k_1}\frac{S_a}{D_a}\exp\frac{x}{2D_x}\left(v-\sqrt{v^2+4k_1D_x}\right)\right]\left[\operatorname{erf}c\left(\frac{x-vt}{2\sqrt{D_xt}}\right)-\operatorname{erf}c\left(\frac{x-v(t-\tau)}{2\sqrt{D_x(t-\tau)}}\right)\right].$$

Максимальное значение относительного дефицита кислорода имеет место при $t=x/v+\tau/2$. При расчете максимального дефицита кислорода можно также использовать номограмму, приведенную на рис. 3.7, умножая полученный результат на величину

$$\left[\left(1-\frac{k_1}{k_2-k_1}\frac{S_a}{D_a}\right)\exp\frac{x}{2D_x}\left(v-\sqrt{v^2+4k_2D_x}\right)+\right.$$

$$\left.+\frac{k_1}{k_2-k_1}\frac{S_a}{D_a}\exp\frac{x}{2D}\left(v-\sqrt{v^2+4k_1D_x}\right)\right]. \tag{3.39}$$

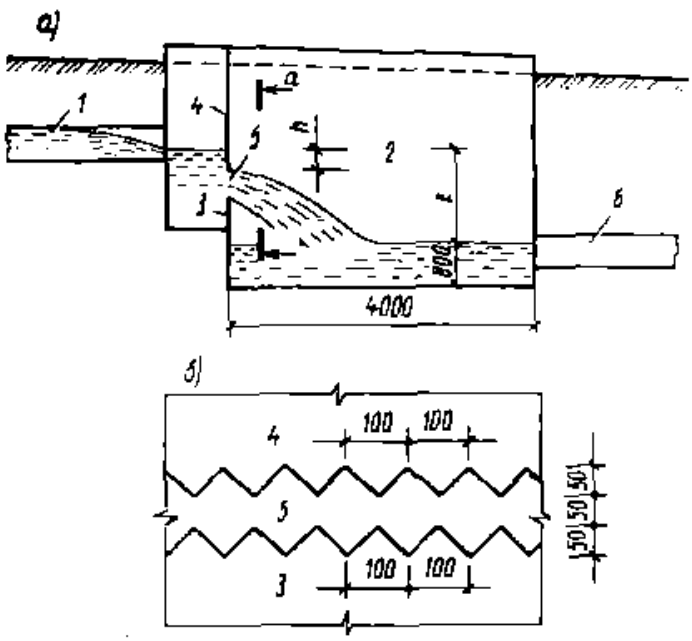


Рис. 3.7. Водослив-аэратор:

а — разрез водослива; б — вид на водослив по 1—1; 1 — подача стока; 2 — камера водослива; 3 — зубчатый водослив; 4 — зубчатый щит над водосливом; 5 — водосливные отверстия; 6 — отвод стока

Если в воде реки имеется фоновый дефицит кислорода, то к результатам, полученным по формуле (3.37), следует добавить фоновый дефицит кислорода D_p. Это допустимо, если принять, что фоновая концентрация кислорода не зависит от процесса реаэрации.

При необходимости дополнительного насыщения очищенных сточных вод кислородом (уменьшение $D_{ст}$) перед спуском их в водный объект следует предусматривать 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 — барботажные сооружения.

Согласно СНиП 2.04.03—85 при проектировании водосливов-аэраторов следует принимать (рис. 3.7):

1) водосливные отверстия в виде тонкой зубчатой стенки с зубчатым щитом на ней;

2) высоту отверстия между остриями зубьев 50 мм;

3) *длину колодца нижнего бьефа* 4 м и глубину 0,8 м;

4) удельный расход воды 120 ... 160 л/с на 1 м длины водослива;

5) напор воды на водосливе h, м, определяется по формуле

$$h=\left(\frac{q'}{225}\right)^2, \tag{3.40}$$

где q' — удельный расход воды, л/с.

Число ступеней водосливов-аэраторов N и величина перепада уровней z, м, на каждой ступени определяются последовательным подбором из формулы

$$\frac{C'_{\text{н}}-C_{\text{ст,тр}}}{C'_{\text{н}}-C_{\text{ст}}}=\varphi^{N}k_{\text{т}}k_{k}, \tag{3.41}$$

где $C'_{\text{н}}$ — растворимость кислорода в жидкости, определяемая по формуле (3.42); $C_{\text{ст,тр}}$ — требуемая концентрация кислорода в очищенной сточной воде, которая должна быть обеспечена на выпуске; $C_{\text{ст}}$ — концентрация кислорода в сточной воде перед сооружением для насыщения, при отсутствии данных $C_{\text{ст}}=0$; φ — коэффициент, учитывающий эффективность аэрации на водосливах в зависимости от перепада уровней и принимаемый по следующим данным:

z, м	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
φ	0,71	0,65	0,59	0,55	0,52

В формуле (3.41) $C'_{\text{н}}$ может быть определена как

$$C'_{\text{н}}=\left(1+\frac{h_{\text{д}}}{20{,}6}\right)C_{\text{т}}, \tag{3.42}$$

где $h_{\text{д}}$ — глубина погружения аэратора, м; $C_{\text{т}}$ — растворимость кислорода в воде в зависимости от температуры и атмосферного давления.

Коэффициент $k_{\text{т}}$ учитывает температуру сточных вод и его следует определять по формуле

$$k_{\text{т}}=1+0{,}02\,(T_{\text{ср}}-20), \tag{3.43}$$

где $T_{\text{ср}}$ — среднемесячная температура воды за летний период.

Коэффициент k_k в формуле (3.41) называется коэффициентом качества воды и принимается для городских сточных вод 0,85.

Неконсервативность загрязняющих веществ. Поступающие в водные объекты неконсервативные загрязняющие вещества подвер-

гаются химическим или биохимическим превращениям, приводящим к уменьшению их концентрации в воде. Обычно распад неконсервативных веществ учитывается введением коэффициента неконсервативности непосредственно в расчетные формулы, т. е. неконсервативность учитывается членом $\exp(-k_1 x/v)$ в формулах (3.20), (3.21), (3.29), (3.30) и (3.31). Коэффициент неконсервативности k_1 учитывает скорость превращения в реакциях первого порядка и выражается обычно в 1/сут. Вышеприведенные расчетные формулы получены в СИ, поэтому и коэффициент неконсервативности следует определять в единицах 1/с. Для этого следует коэффициент умножить на $1{,}16 \cdot 10^{-5}$.

В воде водных объектов превращение органических соединений происходит в результате многих процессов: биохимическое превращение в водной массе, биохимическое превращение при участии донных отложений, биохимическое превращение при участии взвешенных веществ, химическое окисление растворенным в воде кислородом, химическое окисление без участия молекулярного кислорода, фотохимическое окисление и др. Если принять, что закономерности этих процессов могут быть выражены уравнениями первого порядка, то суммарный коэффициент скорости реакции является суммой отдельных составляющих.

В первом приближении можно предполагать, что биохимическое окисление органических соединений имеет две фазы: углеродную и азотную. Согласно общепринятой методике, за предельную биохимическую потребность в кислороде принимается максимальное потребление кислорода на первой фазе, соответствующее моменту резкого увеличения количества нитратов. Кроме того, скорость биохимического окисления органических веществ зависит от температуры воды и наличия в ней окисляющих бактерий, причем каждому органическому соединению присущи свой бактерии.

Для правильных расчетов необходимо располагать экспериментально установленными коэффициентами скорости потребления кислорода именно теми веществами, которые содержатся в сбрасываемых стоках. В первом приближении можно рекомендовать следующие коэффициенты k_1 для практических расчетов в единицах 1/с:

Смешанные стоки городов и предприятий пищевой промышленности	$0{,}35 \cdot 10^{-5}$
Хозяйственные стоки	$0{,}23 \cdot 10^{-5}$
Стоки предприятий химической и текстильной промышленности	$0{,}12 \cdot 10^{-5}$
Стоки предприятий, содержащих токсические вещества	$0{,}12 \cdot 10^{-6}$

Установлено, что увеличение в речной воде содержания активных взвешенных веществ на 2 мг/л ускоряет процессы самоочищения

в 1,2 ... 1,6 раза и в то же время не снижает концентрации растворенного кислорода в воде.

Реаэрация. Концентрация растворенного кислорода в воде водного объекта зависит от двух противоположных и одновременно протекающих процессов: от потребления кислорода бактериями при окислении органических соединений, вносимых в воду со сточными водами, и от атмосферной аэрации — наиболее важного источника поступления кислорода в воду водного объекта. Для определения концентрации растворенного кислорода в воде были рекомендованы формулы (3.35), (3.36) и (3.38), в которых процесс реаэрации учитывается коэффициентом скорости реаэрации k_2. Последняя величина зависит от интенсивности турбулентного перемешивания водных масс, причем воздух вводится в поток за счет макровихрей, составляющих сущность всего турбулентного потока.

Для практических расчетов можно рекомендовать формулу

$$k_2 = 4{,}96 v^{0{,}97} H^{-1{,}67}, \qquad (3.44)$$

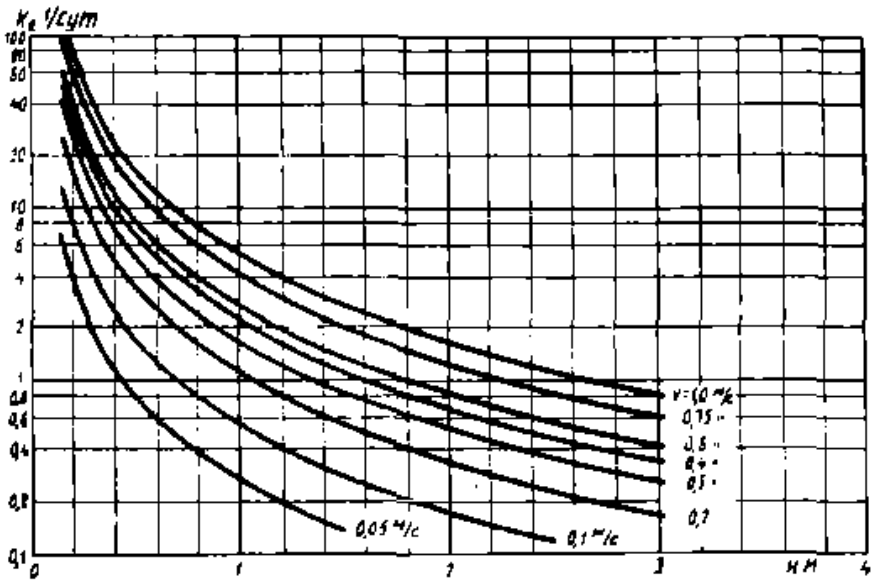


Рис. 3.8. Номограмма для определения коэффициента скорости реаэрации

где k_2 — коэффициент скорости реаэрации, 1/с; v — средняя скорость потока, м/с; H — глубина потока, м.

Для использования формулы (3.44) на рис. 3.8 приведена номограмма в координатах $k_2 = f(H)$ при v = const, причем величина k_2, определяемая по номограмме, соответствует температуре воды 20° С. Учитывая, что процесс реаэрации зависит от температуры воды, следует ввести в расчет температурную поправку в виде

$$(k_2)_T = (k_2)_{20} 1{,}024^{(T-20)}, \qquad (3.45)$$

где T — температура воды.

Для предварительных расчетов рекомендуется использовать значения коэффициента k_1, приведенные в табл. 3.2.

Таблица 3.2. Значения коэффициента $k_2(10^{-5}k_2)$, л/с

Характеристика водного объекта	k_2 при температуре воды, °С					
	5	10	15	20	25	30
Слабопроточные или стоячие водоемы	—	—	0,12	0,17	—	—
Большие и средние реки с течением:						
медленным	0,18	0,19	0,21	0,23	0,24	0,27
быстрым	0,43	0,49	0,53	0,58	0,62	0,68
Малые реки с быстрым течением	—	0,75	0,86	0,93	1,00	1,08

Требуемая степень очистки сточных вод. Степень очистки сточных вод, сбрасываемых в водные объекты, должна отвечать требованиям Правил. Для того чтобы правильно определить необходимую степень очистки сточных вод, в каждом случае нужно иметь подробные данные об их объеме и составе, а также данные о степени разбавления и самоочищения водного объекта. Необходимая степень очистки сточных вод определяется применительно к каждому из нормативных показателей загрязнения, а также к общесанитарным и органолептическим показателям вредности, которые приведены в § 2.4.

Санитарные условия в водном объекте зависят, с одной стороны, от предельно допустимой концентрации загрязняющих веществ (ПДК), а с другой — от максимальной концентрации каждого загрязняющего вещества в расчетном створе (пункте) водного объекта. Концентрация загрязняющего вещества в максимально загрязненной струе в расчетном створе качества воды водного объекта должна удовлетворять требованию

$$S_{max} \leqslant \text{ПДК} - S_p. \tag{3.46}$$

При стационарном спуске сточных вод из берегового выпуска максимальная концентрация определяется по формуле (3.21). Предельно допустимая максимальная концентрация сточной жидкости $S'_{ст}$, обеспечивающая нормативную концентрацию в расчетном створе, с учетом (3.21) и (3.46) может быть определена по формуле

$$S'_{ст} \leqslant (\text{ПДК} - S_p)\frac{H\sqrt{\pi v D_y x}}{q}\operatorname{erf}\left(\frac{B\sqrt{V}}{2\sqrt{D_y x}}\right)\exp\left(k_1\frac{x}{v}\right). \tag{3.47}$$

В данном случае требуемая степень очистки сточных вод определяется как

$$n_{оч}=\frac{S_{ст}-S'_{ст}}{S_{ст}}\,100. \qquad (3.48)$$

Предельно допустимая максимальная концентрация сточной жидкости при нестационарном спуске сточных вод, согласно прямоугольной эпюре [формула (3.33)], определяется по формуле

$$S'_{ст}\leqslant \frac{2(Q+q)\,ПДК}{\exp\frac{x}{2D_x}\left(v-\sqrt{v^2+4k_1D_x}\right)\times \ldots \rightarrow}$$

$$\ldots\rightarrow \times\left[erfc\left(\frac{-vt}{4\sqrt{D_x\left(\frac{x}{v}+\frac{t}{2}\right)}}\right)-erfc\left(\frac{vt}{4\sqrt{D_x\left(\frac{x}{v}-\frac{t}{2}\right)}}\right)\right]-\frac{S_pQ}{q}. \qquad (3.49)$$

Иногда рекомендуется использовать в качестве характеристики вредности сточных вод показатель предельного допустимого сброса (ПДС). ПДС с учетом требований к составу и свойствам воды в водных объектах определяется для всех категорий водопользования как произведение расхода сточных вод q на концентрацию загрязняющих веществ $S'_{ст}$ в сточных водах согласно формуле

$$ПДС=qS'_{ст}. \qquad (3.50)$$

Используя (3.47) и (3.48), степень очистки определяется по формуле

$$n_{оч}=\left(1-\frac{ПДС/q-S_p}{S_{ст}}\right)\frac{H\sqrt{\pi vD_y x}}{q}\,erf\left(\frac{B\sqrt{v}}{2\sqrt{D_y x}}\right)\exp\left(k_1\frac{x}{v}\right)100, \qquad (3.51)$$

где ПДС с учетом (3.47) и (3.50) имеет вид

$$ПДС=(ПДК-S_y)\,H\sqrt{\pi vD_y x}\,erf\left(\frac{B\sqrt{v}}{2\sqrt{D_y x}}\right)\exp\left(k_1\frac{x}{v}\right). \qquad (3.52)$$

Необходимо подчеркнуть обязательный сброс массы вещества, соответствующий ПДС с расходом сточной воды q, принятой согласно формуле (3.50), так как уменьшение расхода сточных вод при сохранении величины ПДС приведет к увеличению концентрации загрязняющих веществ в сточной жидкости и превысит $S'_{ст}$, что

недопустимо. Величина концентрации $S'_{ст}$, необходимая для расчета ПДС при спуске сточных вод в черте города, принимается по величине не более ПДК, которая соответствует требованиям к составу и свойствам воды водных объектов в месте водопользования.

При определении степени очистки сточных вод для удовлетворения рыбохозяйственных требований в створе, находящемся на расстоянии 500 м ниже по течению от места выпуска сточных вод, в формулах (3.49) и (3.51) можно принять $k_1 = 0$, т. е. следует рассматривать неконсервативные вещества как консервативные.

Если использовать понятие кратности разбавления, определяемое по формулам (3.24) и (3.25) или по окончательным формулам (3.29), (3.30) и (3.31), то относительная степень очистки, %, с учетом разбавления и самоочищения выражается в виде

$$n_{оч} = \frac{S_{ст} - n\text{ПДК} - (1-n)\,S_р}{S_{ст}}\,100. \qquad (3.53)$$

По взвешенным веществам санитарные и рыбохозяйственные требования ограничивают лишь степень увеличения содержания взвешенных веществ в воде водного объекта. В каждом случае расчеты ведутся по формуле

$$S'_{ст} = n\,S_{доп} + S_р, \qquad (3.54)$$

где $S_{доп}$ — допустимое увеличение содержания взвешенных веществ 0,25 ... 0,75 мг/л в зависимости от вида водопользования.

3.3. Расчет качества воды непроточных водоемов

Начальное разбавление. Процесс разбавления можно разделить на две части: начальное разбавление, где разбавление происходит вследствие вовлечения окружающей жидкости турбулентным струйным потоком, образующимся при истечении сточных вод из оголовка выпуска. Вторая часть разбавления — так называемое основное разбавление, где этот процесс происходит за счет течений и турбулентного обмена в окружающей жидкости.

Расход сточной жидкости, принимаемый в качестве исходного для расчета основного разбавления, определяется по формуле

$$q_{ст} = n_н q, \qquad (3.55)$$

где $n_н$ — кратность начального разбавления; q — расход сточной воды на выходе из оголовка выпуска.

По данным Н. Н. Лапшева, начальное разбавление следует учитывать в следующих случаях:

для напорных сосредоточенных и рассеивающих выпусков при соотношении скоростей потока v и выпуска v_0

$$v_0 \geq 4v; \tag{3.56}$$

при абсолютных скоростях истечения струи из выпуска, больших 2 м/с. При меньших скоростях расчет начального разбавления не производится. В условиях обычного пассивного спуска $v = v_0$ множитель $n_н = 1$ и весь процесс разбавления происходит под влиянием турбулентности потока. Такое исходное положение было принято в § 3.2, где при расчете учитывалось только основное разбавление. В случае непроточных водоемов, учитывая малые скорости течения, условие (3.56) выполнено.

Кратность начального разбавления следует определять по выражению

$$n_н = \frac{0{,}248}{1-m}\,\bar{d}^2\left(\sqrt{m^2 + 8{,}1\,\frac{1-m}{\bar{d}^2}} - m\right), \tag{3.57}$$

где $m = v/v_0$, $\bar{d} = d/d_0$; d_0 — диаметр оголовка; d — диаметр загрязненной струи.

Значение $\bar{d}^2$ вычисляют по формуле

$$\bar{d}^2 = \frac{8{,}1}{\dfrac{(1-m)\Delta v_m^2}{0{,}92} + \dfrac{2m\Delta v_m}{0{,}96}}, \tag{3.58}$$

где $\Delta v_m = v_m - v$, v_m — скорость на оси струи.

По данным экспериментальных исследований, условно принимается $\Delta v_m = 0{,}10 \ldots 0{,}15$ м/с.

Если струя достигает граничных поверхностей, интенсивность разбавления снижается. Это влияние учитывается путем введения в формулу (3.57) множителя $f(H/d)$, который учитывает стеснение струи и определяется в зависимости от H/d:

H/d	0	0,2	0,4	0,6	0,8
$f(h/d)$	0	0,30	0,59	0,80	0,95

Расстояние до пограничного сечения зоны начального разбавления определяется по формуле

$$x_н = \frac{d}{0{,}48(1 - 3{,}12m)}. \tag{3.59}$$

Если разбавление происходит в начальной и основной зонах, то общая кратность разбавления равна

$$n = n_н n_о, \tag{3.60}$$

где $n_о$ — кратность основного разбавления.

Основное разбавление. Для определения кратности основного разбавления в условиях непроточных водных объектов (озера, водохранилища и др.) по сравнению с реками существенным отличием является то, что загрязняемая часть водоема ограничена берегом лишь с одной стороны. В этих случаях расчеты разбавления выполняются детальными методами, основанными на численном решении уравнения (3.9) турбулентной диффузии на ЭВМ по схемам как плоской, так и пространственной задачи. Иногда в условиях непроточных водных объектов предлагают изотропную модель диффузии и принимают, что в уравнении (3.9) $D_x = D_y = D_z$. Скорость течения водных масс определяют по формуле (3.8). При мелководных объектах можно отказаться от разбавления в вертикальном направлении $(\partial^2 S/\partial z^2) = 0$ и прийти к плоской задаче распространения загрязнения. Коэффициент дисперсии рекомендуется при этом определить по формуле

$$D = \frac{gvH}{37 n_ш C^2}. \qquad (3.61)$$

Основное разбавление, происходящее на пути движения воды дальше от места выпуска сточных вод, приводит к различным ситуациям загрязнения в зависимости от направления ветра:

при направлении ветра к берегу загрязнения распространяются в основном в глубинных слоях в направлении от берега к середине водоема;

при направлении ветра от берега к месту выпуска сточных вод будут подходить более чистые глубинные слои воды и уходить из него поверхностные, сильно разбавленные.

В обоих случаях загрязнение наблюдается лишь на небольшом участке берега. При ветре, направленном вдоль берега или под небольшим углом к нему, малоразбавленные сточные воды направляются вдоль берега, загрязняя его на большом протяжении.

Кратность основного разбавления консервативного загрязняющего вещества при сбросе сточных вод через донный глубоководный выпуск определяется формулой

$$\frac{1}{n_0} = \frac{S - S_в}{S_{ст} - S_в} = 5{,}9 \frac{\sqrt{g}}{H\sqrt{v_0}} erf\left(0{,}3 \frac{H}{\sqrt{D\frac{L}{v_T}}}\right), \qquad (3.62)$$

где $S_в$ — концентрация загрязнений в воде водоема до спуска сточных вод; v_0 — скорость в выпуске; v_T — средняя по вертикали скорость течения (3.8); D — коэффициент дисперсии (3.16); L — расстояние на поверхности воды от выпуска до расчетного створа.

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

ПОДГОТОВКА ВОДЫ

В разделе рассматриваются основные реагенты, технологические процессы, сооружения и приборы, применяемые для обработки природных вод. Главная направленность материала — подготовка хозяйственно-питьевых вод из поверхностных вод. Приведенная информация может быть также полезной при решении вопросов очистки подземных и подготовки технических вод.

Приводятся данные о коагулянтах и других основных реагентах, применяемых в водоподготовке, разъясняется механизм коагуляции примесей воды, дается описание сооружений и приборов для хранения, подготовки и дозировки реагентов в обрабатываемую воду.

Рассматриваются принципы работы, устройство и расчет сооружений, применяемых для очистки природных вод (отстойники, осветлители, микрофильтры, гидроциклоны, флотационные установки, фильтры с зернистой загрузкой, намывные фильтры), приводится необходимая информация о процессах обеззараживания воды, применении окислителей и сорбентов. Заключительная глава посвящена вопросам проектирования водоочистных комплексов.

ГЛАВА 4

КОАГУЛИРОВАНИЕ ВОДЫ

4.1. Характеристика применяемых реагентов

Реагентами называются химические вещества, применяемые в процессах водоподготовки. *Коагулянты* используются для осветления и обесцвечивания воды. Широкое распространение получили алюминийсодержащие коагулянты, прежде всего сульфат алюминия, среди которых главным образом *очищенный (технический) сернокислый глинозем* $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$ (ГОСТ 12966—85), представляющий собой неслеживающиеся пластинки, брикеты и куски неопределенной формы и разного размера. Материал имеет перламутровый оттенок, для очистки воды выпускается двух сортов: I сорт содержит активного вещества Al_2O_3 не менее 16% (не менее 53% по безводному сульфату алюминия) и нерастворимых в воде примесей не более 0,3%; II сорт содержит Al_2O_3 не менее 15% и нерастворимых

примесей не более 0,7%. Коагулянт транспортируется навалом в крытых железнодорожных вагонах.

В настоящее время используется еще и *неочищенный сернокислый глинозем* $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$. Это крошка серовато-белого цвета с кусками различной крупности с содержанием Al_2O_3 не менее 9,5%. Сорт А содержит нерастворимых примесей не более 2,2% и сорт Б — не более 2,7%. Также транспортируется навалом.

Из других алюминийсодержащих коагулянтов применяются оксихлорид алюминия и алюминат натрия.

Оксихлорид алюминия $Al_2(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$ — зеленоватые кристаллы, содержит 40 ... 44% Al_2O_3 и 20...21% NaCl, выпускается в виде 35%-ного раствора.

Алюминат натрия $NaAlO_2$ — куски белого цвета, товарный продукт содержит 55% Al_2O_3.

В водоподготовке используются также железосодержащие коагулянты — хлорное железо, сульфат железа (II) и сульфат железа (III).

Хлорное железо $FeCl_3$ (ГОСТ 11159—76) — фиолетового цвета кристаллы с темно-зеленым оттенком, I сорт товарного продукта содержит активного вещества не менее 97,3% и не более 0,6% нерастворимых примесей, II сорт содержит $FeCl_3$ не менее 95%. Ввиду большой гигроскопичности материал транспортируется в герметично закрытых стальных барабанах. Возможна поставка в виде раствора в цистернах с содержанием активного вещества в растворе 35...40%.

Железный купорос $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (ГОСТ 6981—75) — зеленовато-голубые кристаллы, транспортируется в полиэтиленовых мешках или мягких контейнерах. Может поставляться насыпью в крытых транспортных средствах. Товарный продукт выпускается двух сортов, содержит $FeSO_4$ соответственно не менее 52 и 47%, нерастворимых примесей — не более 0,2% (I сорт) и не более 1% (II сорт). При pH<8 железный купорос рекомендуется подавать в воду вместе с хлором для окисления двухвалентного железа в трехвалентное. В противном случае в воде образуется гидроксид железа (II), который при низких значениях pH плохо коагулируется. $FeSO_4$ является наиболее подходящим коагулянтом в процессе известкового и известково-содового умягчения, протекающего при pH>10, когда сульфат алюминия непригоден.

Сульфат железа (III) $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 2H_2O$ — кристаллический, гигроскопичный продукт, поставляется в бумажных мешках. Пригоден для использования без дополнительного ввода окислителя, имеет некоторые технологические преимущества перед сульфатом алюминия.

Однако появляется опасность повышения содержания железа в очищенной воде.

В зависимости от свойств воды можно получить хорошие результаты, применяя *хлорированный железный купорос*, который

получают на водоочистной станции путем обработки $FeSO_4$ хлором. При этом на 1 г железного купороса необходимо добавить 0,16 ... 0,22 г хлора. При низкой температуре воды и в целях экономии реагента можно использовать *смешанный алюможелезный коагулянт*, который получают перемешиванием $FeCl_3$ и $Al_2(SO_4)_3$ в пропорции по весу от 1:1 до 2:1. $FeCl_3$ и $Al_2(SO_4)_3$ можно также вводить в воду раздельно, без предварительного изготовления смешанного раствора.

Для интенсификации процесса хлопьеобразования и повышения эффективности коагулирования используются синтетические высокомолекулярные вещества — флокулянты. В технологии очистки воды применяются в основном полиакриламид и активная кремниевая кислота.

Полиакриламид — бесцветный, гелеобразный препарат органического происхождения (ТУ 6-01-1049—76), содержание активного вещества 6,5 ... 7%. Поставляется в полиэтиленовых мешках, упакованных в ящики. Перед подачей в воду растворяют в быстроходной лопастной мешалке. Изготовляется также порошкообразный ПАА (ТУ 6-16-1895—74), содержащий 48% активного вещества.

Активная кремниевая кислота — флокулянт минерального происхождения, получают на водоочистной станции путем активации жидкого стекла (ГОСТ 13078—81) хлором или сульфатом алюминия.

В разных процессах обработки воды необходима добавка щелочных реагентов, в качестве которых используются гашеная известь, кальцинированная соль и едкий натр.

Гашеная известь $Ca(OH)_2$. Ее получают, как правило, на водоочистной станции путем гашения строительной извести CaO (ГОСТ 9179—77). Ввиду малой растворимости (при 20° С 1,23 г/л) обычно вместо раствора используется суспензия извести (известковое молоко). Возможно поставка также известкового теста или готового известкового молока.

Кальцинированная сода Na_2CO_3 (ГОСТ 5100—85Е) — белый порошок, содержит активного вещества не менее 99%.

Едкий натр (каустическая сода) NaOH (ГОСТ 2263—79) — белая непрозрачная масса или жидкость.

Для дезинфекции воды и окисления органических веществ используются дезинфектанты и окислители. Более широко при этом применяют жидкий хлор и хлорсодержащие реагенты — хлорную известь, гипохлорит кальция, диоксид хлора, гипохлорит натрия.

Жидкий хлор Cl_2 (ГОСТ 6718—86) — маслянистая жидкость оранжево-желтого цвета с удельной массой 1,43 г/л, содержит не менее 99,5% CL_2. Хлор — газ, сжижается при низкой температуре и высоком давлении (при 15° С и 0,575 МПа, при атмосферном давлении и температуре —34,6° С), поэтому жидкий хлор перевозится в баллонах или в контейнерах (бочках) под давлением 0,6 ... 0,8 МПа во избежание испарения. Общая масса баллона — 100 кг, контейнеров — 1000 ... 3000 кг.

Таблица 4.1. Реагенты и вещества, применяемые в водоподготовке

Реагент или вещество	Химическая формула	Вид	Нормативный документ	Назначение в водоподготовке
Активные угли:				
АГ-3		Черные зерна правильной формы	ГОСТ 20464—75	Сорбция растворенных веществ
БАУ		Зернистый материал черного цвета	ГОСТ 6217—74	То же
ДАУ		То же	ТУ 6-16-2393—80	»
КАД		»	ТУ 6-16-1917—74	»
иодный		Порошок черного цвета	ГОСТ 4453—74	»
ОУ				
Аммиак	NH_3	Сжиженный газ	ГОСТ 6221—82Е	Аммонизация воды
Гидразин-гидрат		Бесцветная жидкость	ГОСТ 19503—88Е	Обескислороживание воды
Ионообменные материалы:				
катиониты				
КУ-1		Масса желтого цвета (смола)	ХТУ 107—58	Умягчение и обессоливание воды
КУ-2		То же	МРТУ 605903—65	То же
Сульфоуголь		Зернистый материал черного цвета	ГОСТ 5696—74	»
аниониты				
АН-2Ф		Масса белого цвета (смола)	СТУ 492518—61	Обессоливание воды
АВ-17		То же	МРТУ 605866—65	То же
Медный купорос	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	Кристаллы голубого цвета	ГОСТ 193-47—84Е	Устранение цветения водоемов, биообрастания водозаборных сооружений, коммуникаций и теплообменных поверхностей
Кремнефтористый аммоний	$(NH_4)_2SiF_6$	Белый порошок	ОСТ 608-2—75	Фторирование воды
Кремнефтористый натрий	Na_2SiF_6	То же	ТУ 14/0769—64	То же
Полифосфат натрия	$(NaPO_3)_n \cdot H_2O$	Бесцветные куски	ГОСТ 20291—80	Защита трубопроводов от коррозии и обрастания

Продолжение табл. 4.1

Реагент или вещество	Химическая формула	Вид	Нормативный документ	Назначение в водоподготовке
Серная кислота	H_2SO_4	Жидкость	ГОСТ 2184—77	Стабилизация воды, регенерация Н-катионовых фильтров
Сернистый ангидрид	SO_2	Бесцветная или с желтым оттенком жидкость	ГОСТ 2918—79	Дехлорирование воды
Соляная кислота	HCl	Жидкость	ГОСТ 857—78	Регенерация Н-катионовых фильтров
Сульфит натрия	$Na_2SO_3 \cdot H_2O$	Бесцветные кристаллы	ГОСТ 903—76	Дехлорирование воды
Тиосульфат натрия	$Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$	Бесцветные или белые кристаллы	ГОСТ 244—76	То же
Тринатрий фосфат	$Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$	Кристаллы	ГОСТ 201—76Е	Доумягчение воды
Триполифосфат натрия	$Na_5P_3O_{10}$	Белый порошок	ГОСТ 13493—86Е	Защита трубопроводов от коррозии и обрастания
Фтористый аммоний	NH_4F	Бесцветные кристаллы	ГОСТ 4518—75	Фторирование воды
Фтористый натрий	NaF	Кристаллический порошок	ГОСТ 4463—76	То же

Хлорная известь $CaCl_2O$ (ГОСТ 1692—85) — белый порошок с резким запахом, содержит 32 ... 35% активного хлора, получают хлорированием гашеной извести.

Гипохлорит кальция $Ca(ClO)_2$ (ГОСТ 2526—82) — белый порошок, содержит 39 ... 52% активного хлора, получают хлорированием известкового молока.

Диоксид хлора ClO_2 получают на водоочистной станции хлорированием раствора хлорита натрия $NaClO_2$. Хлорит натрия — белый порошкообразный материал, сильный окислитель.

Гипохлорит натрия NaClO — водный раствор, представляет собой сиропообразный материал, получаемый в процессе электролиза поваренной соли. Возможна поставка на водоочистную станцию готового реагента (ГОСТ 11086—76).

Характеристика некоторых других реагентов и веществ, часто применяемых в водоподготовке, приведена в табл. 4.1.

4.2. Основные принципы и понятия процесса коагулирования воды

Условия коагулирования, определение оптимальных доз реагентов. Коагулирование — это технологический процесс обработки воды коагулянтами — солями многовалентных металлов. Под коагуляцией следует понимать физико-химический процесс агломерации мельчайших коллоидных и диспергированных частиц под действием сил молекулярного притяжения. В результате коагулирования устраняются мутность и цветность воды, может снижаться интенсивность привкусов и запахов.

Эффект коагулирования обусловлен воздействием коагулянта на нерастворенные примеси (коллоидные и грубодисперсные частицы), от которых зависит в основном мутность и цветность воды.

При добавке в воду коагулянта, например сульфата алюминия, происходит диссоциация реагента с последующим гидролизом металла:

$$Al_2(SO_4)_3 \rightarrow 2Al^{3+} + 3SO_4^{2-}, \quad (4.1)$$

$$Al^{3+} + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3\downarrow + 3H^+. \quad (4.2)$$

Образующийся гидроксид алюминия является коллоидом, малорастворимым веществом, который в нейтральной и слабокислой среде приобретает небольшой положительный заряд в результате адсорбции ионов H^+ и Al^{3+}. В щелочной среде гидроксид заряжен отрицательно в результате адсорбции ионов AlO_2^-. Коллоиды $Al(OH)_3$ коагулируются, образуя микрохлопья. Данный кратковременный процесс происходит в смесителях, и этим заканчивается первая фаза коагуляции. Во второй фазе, которая в свободном объеме воды может длиться до 60 мин, происходит коагуляция микрохлопьев. При этом микрохлопья адсорбируют на свою поверхность загрязняющие воду коллоидные частицы и могут сами адсорбироваться на поверхность грубодисперсных примесей (взвешенных веществ). Процесс происходит в камерах хлопьеобразования в условиях умеренного перемешивания воды и заканчивается образованием крупных хлопьев. Устранение хлопьев из воды происходит в отстойниках или флотационных установках.

По вышеописанной схеме процесс коагулирования протекает в свободном объеме воды. Другой вид коагулирования основывается на контактной коагуляции. Этот процесс, где вторая фаза коагуляции происходит посредством контактной массы — взвешенного слоя осадка или слоя зернистого материала. По данной схеме работают осветлители со взвешенным осадком, контактные осветлители и контактные фильтры. Контактная коагуляция предполагает малый интервал времени между вводом коагулянта и его поступлением в слой контактной массы. Для этого коагулянт подают в обрабатываемую воду непосредственно перед осветлителями, самостоятельные

камеры хлопьеобразования отсутствуют. При контактной коагуляции процесс мало зависит от щелочности, температуры и pH воды, уменьшается расход коагулянта.

Для эффективного коагулирования необходимо образование нерастворимых, электрически минимально заряженных гидроксидов и микрохлопьев коагулянта, из которых при коагулировании в свободном объеме воды в свою очередь должны образоваться крупные и твердые хлопья. Гидроксид алюминия является малорастворимым при pH = 5 ... 7, причем оптимальное значение pH, при котором целесообразно провести коагулирование, зависит от свойств исходной воды (табл. 4.2).

Таблица 4.2. Оптимальные значения pH при коагулировании разных вод

Характеристика воды	Оптимальное значение pH при коагулировании сульфатом алюминия
Мягкие, цветные (более 50 град) воды, щелочность до 1,5 мг-экв/л	5 ...6
Малоцветные (до 40 град) воды средней жесткости (4 ... 5 мг-экв/л) щелочностью 3 ... 4 мг-экв/л	6 ... 7,2
Малоцветные жесткие (6 ... 8 мг-экв/л) воды с щелочностью более 5 мг-экв/л и общей минерализацией 800 ... 1000 мг/л	6,5 ... 7,5

Из уравнения (4.2) видно, что в процессе гидролиза коагулянта происходит снижение pH среды. Это отрицательно влияет на дальнейший гидролиз и образование хлопьев коагулянта, поэтому выделяющиеся ионы водорода необходимо связать. Частично это происходит за счет природной щелочность воды ($H^+ + HCO_3^- \rightarrow CO_2\uparrow + H_2O$, если этого недостаточно, воду необходимо подщелачивать известью или содой. Необходимая доза щелочи определяется по формуле

$$Д_{щ} = K_{щ}\left(\frac{Д_к}{e_к} - Щ_0\right) + 1, \qquad (4.3)$$

где $K_{щ}$ — эквивалентная масса активного вещества подщелачивающего реагента, мг/мг-экв, принимается для извести (по CaO) —28, для соды (по Na_2CO_3) —53; $Д_к$ — доза безводного коагулянта, мг/л; $e_к$ — эквивалентная масса безводного коагулянта, мг/мг-экв, принимается для $Al_2(SO_4)_3$ — 57, для $FeCl_3$ —54, для $Fe(SO_4)_3$ — 67; $Щ_0$ — щелочность воды, мг-экв/л; 1 — необходимая остаточная щелочность воды. Если по расчету получится $Д_{щ} < 1$, то подщелачивание не требуется.

С повышением температуры воды растворимость гидроксидов коагулянта уменьшается, и коагуляция проходит более эффективно.

При низкой температуре воды и при $7<pH<5$ растворимость соединений алюминия высока и часть алюминия попадает в водопроводную сеть. При повышении температуры и изменении pH среды на определенных участках распределительной сети может происходить осаждение соединений алюминия в виде слоя, что уменьшает пропускную способность трубопроводов и ухудшает качество воды. Надо учесть, что алюминий является токсичным веществом, допустимое содержание его в питьевой воде не более **0,5 мг/л.**

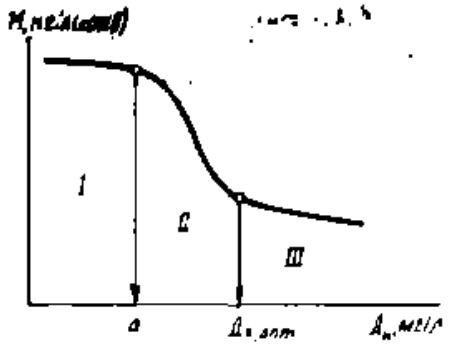


Рис. 4.1. Кривая коагуляции примесей:
a — порог коагуляции; Дк.опт — оптимальная доза коагулянта

Для нормального прохождения коагуляции требуется подача оптимальной дозы коагулянта (масса коагулянта, добавляемого на единицу объема очищаемой воды, которая минимально необходима для эффективного коагулирования примесей). Рис. 4.1 характеризует влияние дозы коагулянта на эффективность осветления и обесцвечивания воды.

В зоне 1 доза коагулянта недостаточна для протекания коагуляции. Начиная с дозы *a* (порог коагуляции) повышение $Д_к$ обусловит повышение эффекта очистки воды (зона II). В зоне III ввиду избытка коагулянта увеличение его дозы повышает эффект очистки воды. Граница между зонами II и III определяет оптимальную дозу коагулянта $Д_{к.опт}$.

Оптимальная доза коагулянта определяется экспериментально: 7 ... 9 стеклянных цилиндров заполняют исследуемой водой (1 л) и добавляют разные дозы коагулянта. После быстрого (30 ... 40 с) и последующего умеренного (15 мин) перемешивания цилиндры оставляются на 30 ... 60 мин в покое. Затем при помощи сифона отделяют осветленную воду, определяют ее мутность (или цветность) и строят кривую коагуляции.

Доза коагулянта зависит в основном от концентрации нерастворенных примесей и от их свойств (прежде всего от крупности и плотности). Необходимая доза тем больше, чем выше концентрация примесей и чем больше в примесях доминируют мелкие низкоплотные частицы. При отсутствии лабораторных исследований необходимую дозу коагулянта, мг/л, для обесцвечивания воды можно определять

$$Д_к = 4\sqrt{Ц}, \qquad (4.4)$$

где Ц — цветность воды, град.

При осветлении воды можно $Д_к$ принимать из табл. 4.3.

При коагулировании важно, чтобы весь добавляемый коагулянт как можно быстро и равномерно распределялся во всем объеме воды.

Для этого в смесителях происходит интенсивное перемешивание коагулянта с водой.

Во второй фазе коагуляции требуется умеренное перемешивание воды, что создаст благоприятные условия для сталкивания микрохлопьев коагулянта с примесями и между собой. Чрезмерная интенсивность может при этом разрушить образовавшиеся хлопья. Умеренное перешивание воды выполняется в камерах хлопьеобразования.

Таблица 4.3. Оптимальные дозы коагулянта для вод разной мутности

Мутность воды, мг/л	$Д_к$, мг/л, по безводному веществу	Мутность воды, мг/л	$Д_к$, мг/л, по безводному веществу
До 100	25 ... 35	600 ... 800	50 ... 60
100 ... 200	30 ... 40	800 ... 1000	60 ... 70
200 ... 400	35 ... 40	1000 ... 1500	70 ... 80
400 ... 600	45 ... 50		

Примечания: 1. Меньшие значения доз относятся к водам, содержащим в основном грубодисперсные примеси. 2. При одновременном осветлении и обесцвечивании воды следует принимать большую из доз, определенных по формуле (4.4) и по табл. 4.3. 3. При контактной коагуляции в зернистой загрузке $Д_к$ следует принимать на 10 ... 15% меньше, чем по формуле (4.4) и по табл. 4.3.

Повышение эффективности коагулирования путем обработки воды флокулянтами. Наиболее часто для повышения эффективности коагулирования используют *обработку воды флокулянтами.*

Флокулянтами называют высокомолекулярные органические и минеральные соединения, которые в воде образуют макромолекулы. Эти молекулы адсорбируют гидроксиды коагулянтов, связывая их вместе с примесями в крупные, тяжелые хлопья.

Из минеральных флокулянтов в основном используется *активная кремниевая кислота* (АК), которая изготовляется на водоочистной станции путем активизации жидкого стекла — нейтрализации 70 ... 85% его щелочности. Для этого используется, как правило, хлор или сульфат алюминия.

Получаемая в результате реакции кремниевая кислота после гидролиза полимеризуется с образованием макромолекулы.

АК является флокулянтом анионного типа, так как макромолекула имеет небольшой отрицательный заряд. Поскольку большинство примесей природных вод также заряжены отрицательно, то АК дает эффект при использовании ее дополнительно к коагулянту. Целесообразно применять АК для осветления и обесцвечивания маломутных цветных вод. Флокулянт добавляется в воду после коагулянта с интервалом во времени 2 ... 3 мин. Дозу АК (по активному веществу SiO_2) можно принимать из табл. 4.4 или определять экспериментально.

Таблица 4.4. **Дозы кремниевой кислоты при разных схемах использования реагента**

Схема использования АК	Доза АК по активному веществу SiO_2, мг/л
При вводе перед отстойниками или осветлителями со взвешенным осадком для воды с температурой 5 ... 7° С	2 ... 3
То же, с температурой менее 5 ... 7° С	3 ... 5
При вводе перед фильтрами при двухступенчатой очистке	0,2 ... 0,5
При вводе перед контактными осветлителями или фильтрами при одноступенчатой очистке, перед префильтрами	1 ... 3

Из флокулянтов органического происхождения применяется полиакриламид (ПАА), который также является анионным флокулянтом. Реагент поступает на станцию в виде геля или порошка, где из него изготовляется раствор. Дозу ПАА можно принимать по табл. 4.5.

При очистке высокомутных вод флокулянты иногда подают в воду перед коагулянтом, распространена также двухступенчатая обработка воды флокулянтом.

Таблица 4.5. **Доза полиакриламида при разных схемах использования реагента**

Схема использования ПАА и свойства исходной воды	Доза ПАА по безводному (активному) веществу, мг/л
При вводе перед отстойниками или осветлителями со взвешенным осадком в зависимости от мутности и цветности воды:	
мутность / цветность	
до 10 мг/л / более 50 град	1 ... 1,5
10 ... 100 / 30 ... 100	0,3 ... 0,6
100 ... 500 / 20 ... 60	0,2 ... 0,5
500 ... 1500 / —	0,3 ...1
При вводе перед фильтрами при двухступенчатой очистке	0,05 ... 0,1
При вводе перед контактными осветлителями или фильтрами при одноступенчатой очистке, перед префильтрами	0,2 ... 0,6

Электрохимическое коагулирование. Необходимые для коагулирования ионы алюминия или железа можно получить электрохимическим путем. Для этого используются безнапорные емкости — электролизеры (электрокоагуляторы), в которые опущены пластинчатые или цилиндрические электроды из алюминия или стали. Электролизер включается, как правило, в сеть постоянного тока. В процессе анодного растворения металла в воду поступают

ионы Al^{3+} или Fe^{2+}. Поскольку при стальных электродах выделяются ионы двухвалентного железа, необходимо их окисление в Fe^{3+}. Для этого в электрокоагулятор дополнительно подается сжатый воздух или осуществляется предварительное хлорирование воды.

Количество металла, растворимого с анода, определяется на основе закона Фарадея, г:

$$m = KIt, \tag{4.5}$$

где K — электрохимический эквивалент; I — сила тока, А; t — продолжительность электролиза, ч.

Расход электроэнергии на электролитическое растворение металла, Вт·ч, определяется по формуле

$$W = IUt, \tag{4.6}$$

где U — напряжение между электродами, В.

Теоретически на растворение 1 г-экв металла (т. е. 27,9 г Fe или 9 г Al) требуется 26,8 А·ч. Обычно напряжение между электродами принимают 3 ... 4 В. В таком случае для растворения 1 г Fe по формуле (4.6) требуется 26,8·3/27,0 = 2,9 Вт·ч, для растворения 1 г Al — 8,9 Вт·ч.

Растворение 1 г металлического алюминия эквивалентно введению 12,3 г $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, растворение 1 г металлического железа — введению 4,8 г $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ или 4,9 г $FeSO_4 \cdot 7H_2O$. Фактический расход электроэнергии больше, часть ее израсходуется на подогрев воды. Расход электроэнергии увеличивается с увеличением расстояния между электродами и плотности тока, с замедлением течения воды между электродами. Поэтому электролизеры рекомендуется эксплуатировать при следующих параметрах: плотность тока — не более 10 А/м^2, расстояние между электродами — не более 20 мм; напряжение между электродами — 3 ... 4 В; проточная скорость воды в электролизере — не менее 0,5 м/с.

Использование электролитической коагуляции вместо реагентной повышает компактность реагентного узла станции, в результате автоматизированного управления работой коагуляционной установки упрощается его обслуживание. Данный способ коагулирования целесообразно применять прежде всего на небольших станциях (суда, малые поселки и др.).

Недостатком электролитической коагуляции является высокий расход электроэнергии и электродного металла.

4.3. Сооружения коагулирования

Хранение и растворение коагулянта. Устройство реагентного хозяйства водоочистной станции зависит от способа хранения и дозирования реагента. В практике распространена подача реагентов

(коагулянта, флокулянтов, извести, соды) в виде растворов и суспензии, так называемое мокрое дозирование. При высококачественных порошковых и гранулированных реагентах более целесообразно сухое дозирование. Это обеспечит большую компактность реагентного хозяйства, лучшие условия труда, создаст возможности полностью автоматизировать управление процессом работы.

При мокром дозировании возможно сухое или мокрое хранение коагулянта. В первом случае реагент поступает на склад, площадь которого должна быть рассчитана на хранение 30-суточного запаса коагулянта в период его максимального потребления. Склад устраивается на первом этаже станции в закрытом помещении. Площадь склада, $м^2$,

$$A_{скл} = \frac{Q_{сут} Д_к T \alpha}{10\,000 p_c G_0 h_к}, \qquad (4.6')$$

где $Q_{сут}$ — производительность станции, $м^3$/сут; $Д_к$ — доза безводного коагулянта в период максимального расхода, мг/л; T — период хранения коагулянта, сут; $\alpha = 1{,}15$ — коэффициент, учитывающий дополнительную площадь на проходы; p_c — содержание безводного коагулянта в техническом продукте, %; $G_0 \approx 1{,}1$ — объемная масса коагулянта, т/$м^3$; $h_к$ — толщина слоя коагулянта в складе. При хранении реагента навалом и при механизированной загрузке — разгрузке $h_к$ принимается до 3,5 м.

Объем склада должен соответствовать разовой поставке реагента. Обычно коагулянт и другие реагенты, поставляемые навалом, поступают в железнодорожных вагонах массой 60 т (нетто).

Более целесообразным является мокрое хранение коагулянта, когда поступающий реагент сразу выгружается в растворные баки. Этим предотвращается слеживание материала на складе, уменьшаются потери реагента. Необходимый объем растворных баков при мокром хранении коагулянта определяется из расчета 2,2 ... 2,5 $м^3$ на каждую тонну неочищенного или 1,9 ... 2,2 $м^3$ на каждую тонну очищенного коагулянта. В растворном баке изготовляется концентрированный (15 ... 20%) раствор, который затем перекачивается в баки-хранилища (не менее трех баков, их объем принимается из расчета 1,5 ... 1,7 $м^3$ на 1 т коагулянта). Баки-хранилища необходимы на больших станциях для уменьшения объема растворных баков, где месячная потребность коагулянта превышает объем разовой поставки реагента.

Если при мокром хранении коагулянта объем разовой поставки значительно выше месячного потребления, то для уменьшения объема баков часть коагулянта рекомендуется хранить на складе в сухом виде.

При сухом хранении коагулянта реагент перед подачей в воду растворяется в растворных баках. Необходимо минимум три растворных бака, вместимость каждого из которых, м^3,

$$V_{\text{раств}} = \frac{Q_ч n Д_к}{10\,000 b_{\text{раств}} \rho_{\text{раств}}}, \qquad (4.7)$$

где $Q_ч$ — часовой расход станции, м^3/ч; n — время, в течение которого станция должна работать с использованием коагулянта из данного бака, ч; $b_{\text{раств}}$ — концентрация раствора в баке по чистому, безводному продукту, %, принимаемая: до 17% — для неочищенного коагулянта, до 20% — для очищенного кускового, до 24% — для очищенного гранулированного коагулянта; $\rho_{\text{раств}} = 1{,}1$ — плотность раствора коагулянта, т/м^3.

Величина n зависит от производительности станции:

Производительность станции, м^3/сут	До 10 000	10 000 ... 50 000	Более 50 000	Более 100 000
n, ч	12 ... 24	8 ... 12	6 ... 8	3

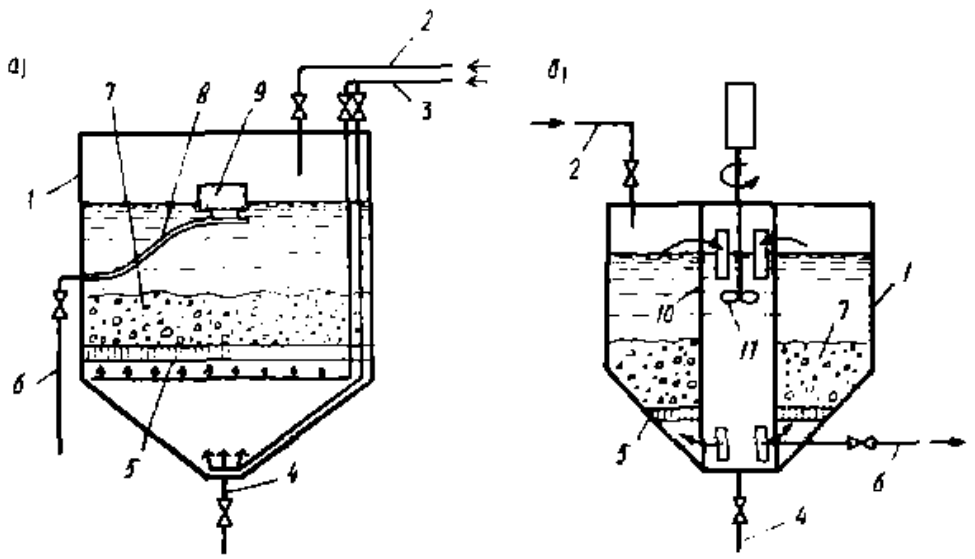


Рис. 4.2. Растворный бак с растворением коагулянта сжатым воздухом (*а*) и механическим перемешиванием (*б*):

1 — железобетонный бак с антикоррозионным внутренним покрытием; 2 — подача воды; 3 — подача сжатого воздуха; 4 — трубопровод для опорожнения d = 150 мм; 5 — решетка с отверстиями 10х15 мм (при порошкообразном и гранулированном коагулянте дополнительно сетка с отверстиями 2 мм); 6 — отвод раствора; 7 — коагулянт; 8 — щиток; 9 — поплавок; 10 — центральная труба; 11 — пропеллер

Для растворения коагулянта используется сжатый воздух (рис. 4.2,*а*) при интенсивности аэрирования 8 ...10 л/(с·м^2), либо механическое перемешивание (рис. 4.2, *б*). В качестве дополнительной меры можно для растворения использовать циркуляционный насос.

Схема растворного бака при мокром хранении коагулянта приведена на рис. 4.3.

Продолжительность растворения необходимо при температуре воды 10^0 С принять 10 ... 12 ч, а при температуре 40^0 С — 6 ... 8 ч.

При использовании хлорного железа растворные баки должны находиться в изолированном, вентилируемом боксе.

После растворных баков раствор коагулянта направляется в расходные баки, где он разбавляется до концентрации 12%. При этом подается сжатый воздух (3 ... 5 л/(с·м^2)), осуществляется механическое перемешивание или циркуляции раствора насосом. Дно расходного бака должно иметь уклон в сторону трубы опорожнения не менее 0,1. Диаметр трубы принимается не менее 100 мм.

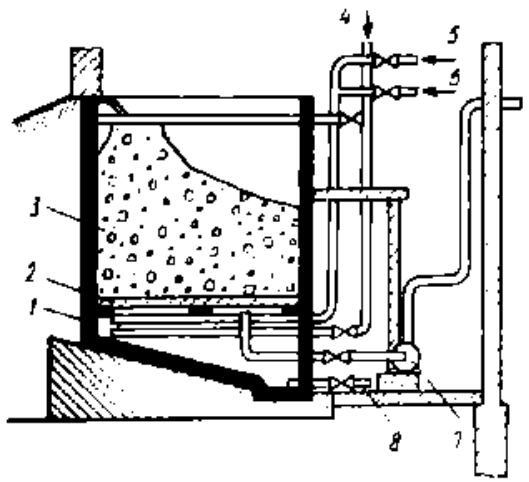


Рис. 4.3. Растворный бак для мокрого хранения коагулянта:
1 — бак; 2 — решетка; 3 — коагулянт; 4 — подача воды; 5 — подача пара; 6 — подача сжатого воздуха; 7 — насос для перекачки готового раствора; 8 — опорожнение

На станции необходимо иметь не менее двух расходных баков. Готовый раствор из растворного и расходного баков забирается с поверхности.

Изготовление известкового молока и раствора. Известь используется в водоподготовке для подщелачивания воды при коагулировании, для стабилизации, умягчения, а также для обезжелезивания воды. Ввиду малой растворимости извести использование известкового раствора рекомендуется при общем его расходе до 50 кг/сут (по активному веществу CaO). В других случаях применяется известковое молоко.

Известь прибывает на станцию в сухом и негашеном виде, в виде известкового теста или готового известкового молока. В первом случае известь хранится на складе и перед использованием проходит гашение. Для этого используются вращающиеся, оборудованные изнутри лопастями барабаны, куда вместе с известью добавляется вода (7 ... 10 м^3 воды на 1 т товарного продукта негашеной извести). Для ускорения процесса гашения можно подавать подогретую до 60 ... 70^0 С воду. С этой же целью можно известь предварительно измельчить.

После известегасилки смесь направляется через гидроциклон для выделения примесей и негашеных частиц извести. Затем смесь поступает в бак известкового молока (не менее двух баков, концентрация CaO не более 5%). Во избежание осаждения частиц извести в баках необходимо постоянное перемешивание при помощи подачи сжатого воздуха (8 ... 10 л/(с·м^2)), с использованием циркуляционного насоса или лопастями (рис. 4.4). Восходящая скорость

суспензии в цилиндрической части бака для предотвращения отстаивания должна быть не менее 5 мм/с. В трубопроводах известкового молока следует обеспечить скорость течения не менее 0,8 м/с, напорные трубопроводы должны иметь уклон не менее 0,02 в сторону насоса, самотечные трубопроводы — не менее 0,03 в сторону выхода.

Вместимость бака, м^3, известкового молока

$$V_n = \frac{Q_т n Д_и}{10\,000 b_и \rho_и}, \qquad (4.8)$$

где $n = 6 \ldots 7$ ч; $Д_и$ — необходимая доза извести по CaO, мг/л, $b_и$ — содержание CaO в известковом молоке, %; $\rho_и \approx 1$ — плотность известкового молока, т/м^3.

На практике используется также мокрое хранение извести при концентрации 35 ... 40%. Вместимость бака-хранилища принимают 3,5 ... 5 м^3 на 1 т товарного продукта извести.

Раствор извести изготовляется из известкового молока в сатураторах двойного насыщения (рис. 4.5).

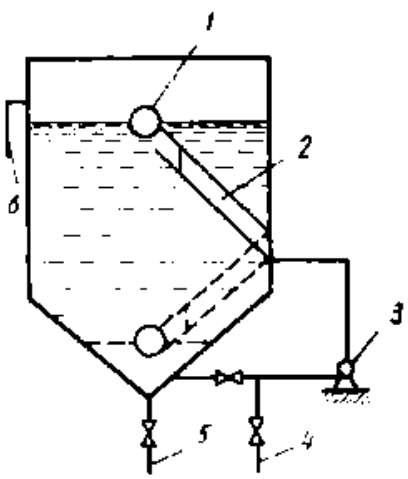


Рис. 4.4. Бак известкового молока (расходный бак) с гидравлическим перемешиванием:
1 — поплавок; 2 — шланг; 3 — циркуляционный насос; 4 — трубопровод для дозирования известкового молока; 5 — опорожнение d не менее 100 мм; 6 — перелив

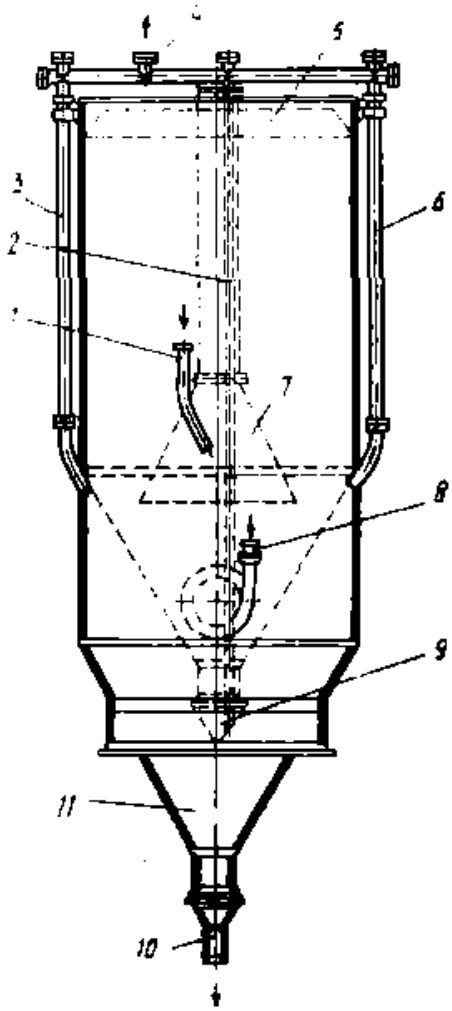


Рис. 4.5. Схема сатуратора двойного насыщения:
1 — подвод известкового молока с концентрацией 10...15%; 2, 5,6 — циркуляционные трубы; 4 — выпуск воздуха; 3 — сборный колокол; 7 — сборник воздуха; 8 — подача воды; 9 — перепускной клапан; 10 — опорожнение; 11 — нижний конус

Приготовление растворов флокулянтов и других реагентов. Полиакриламид добавляется в воду в виде раствора, который изготовляется из технического продукта (гель или порошок) путем его растворения с помощью быстроходной мешалки. На рис. 4.6 приведена схема соответствующей установки.

В баке приготовляется рабочий раствор с концентрацией 0,1 ... 1%. Необходимо учесть, что при низкой концентрации уменьшается срок хранения раствора: при 0,7 ... 1%-ном растворе до 15 сут, при 0,4 ... 0,6%-ном — до 7 сут, при 0,1 ... 0,3%-ном

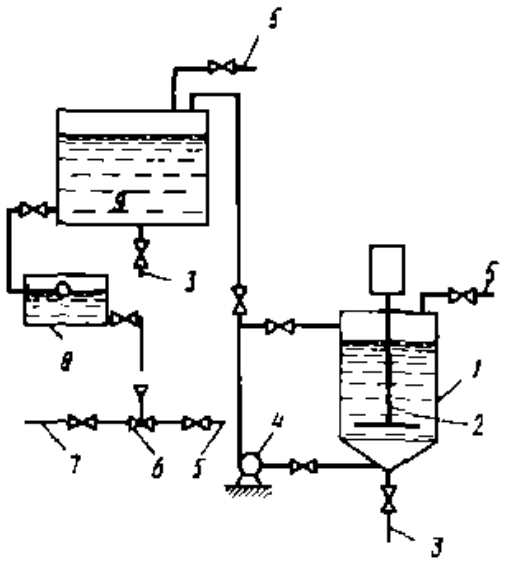


Рис. 4.6. Схема установки для приготовления раствора полиакриламида:
1 — растворный бак с загружаемым товарным продуктом ПАА (нецелесообразно изготовлять бак круглого сечения); 2 — мешалка с электроприводом; 3 — опорожнение; 4 — циркуляционный насос; 5 — подача воды; 6 — эжектор; 7 — раствор ПАА в обрабатываемую воду; 8 — дозировочный бак; Р — расходный бак

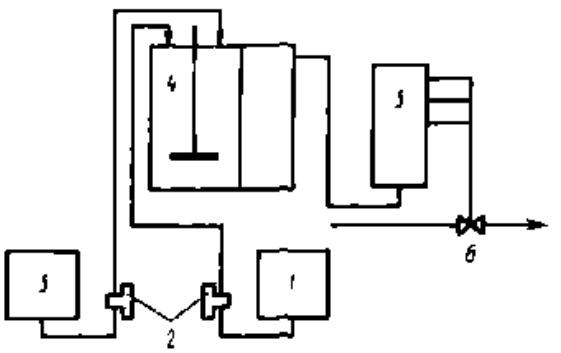


Рис. 4.7. Схема установки изготовления активной кремниевой кислоты:
1 — бак раствора сульфата алюминия; 2 — насос-дозатор; 3 — бак раствора жидкого стекла; 4 — активатор; 5 — полимеризатор; 6 — эжектор

— до 2 сут. Для ускорения растворения ПАА одновременно включают мешалку и циркуляционный насос, рекомендуется подать для растворения воду, подогретую до 50° С. Для быстрого и полного перемешивания ПАА с обрабатываемой водой раствор дозируют с концентрацией по активному веществу до 0,1%.

Для приготовления раствора ПАА разработана стандартная установка УРП-2М со следующими параметрами: производительность установки — 14 $м^3$/сут; объем растворного бака — 2 $м^3$ (объем раствора 1,2 $м^3$, концентрация раствора до 1%), частота вращения крыльчатки — до 960 $мин^{-1}$ (электромотор АО2-42-6); циркуляционный насос 2К-20/30а; продолжительность растворения — 25 ... 40 мин.

На рис. 4.7 приведена схема установки непрерывного получения активной кремниевой кислоты, в табл. 4.6— характеристика установок.

В качестве рабочих растворов используются растворы жидкого стекла (1,5 ... 3% по SiO_2) и сульфата алюминия (1,5 ... 3,5% по безводному продукту). Для получения 1 т АК (по SiO_2) потребуется ориентировочно 3,5 т жидкого стекла (товарный продукт содержит 28,5% SiO_2) и 1,3 т сульфата алюминия.

Таблица 4.6. **Характеристика серийных установок непрерывного изготовления активной кремнекислоты**

Параметры установок	*Производительность установок, кг/ч, по SiO2*		
	3	7,5	12
Марка насоса-дозатора	НД 160/25	НД 400/16	НД 630/10
Объем активатора, л	10	25	40
Размеры активатора, мм	590x220x440	670x290x565	740x330x680
Электропривод	АОЛ2-11-4		
	N = 0,6 кВт, n = 1500 мин$^{-1}$		
Объем полимеризатора, л	300	750	1200
Размеры полимеризатора, мм	500x500x1000	d = 945, H = 1100	d = 1300, H = 1200
Объем бака раствора жидкого стекла (2 шт.), м^3	5	12	20
Объем бака раствора сульфата алюминия (2 шт.), м^3	5	12	20

Со временем макромолекулы АК теряют свой заряд и коагулируются. Поэтому АК необходимо использовать в течение 6 ... 12 ч. Для продления срока службы необходимо раствор выдержать в полимеризаторе 30 ... 60 мин, а также изготовить малоконцентрированный раствор (0,5% по SiO_2). Подача АК в обрабатываемую воду, как правило, происходит эжектором.

При углевании воды применяется порошкообразный активный уголь. Из угля приготавливается суспензия концентрацией 5 ... 10% путем ее замачивания в течение 1 ч. Для этого используются баки с механическим или гидравлическим перемешиванием.

Раствор перманганата калия приготавливается в растворно-расходном баке. Продолжительность растворения при температуре воды 20° С —4 ... 6 ч, при 40° С— 2 ... 3 ч. Концентрацию раствора принимают 0,5 ... 2%. На станции должно быть не менее двух баков.

Гексаметафосфат натрия подается в воду при фосфатировании воды в виде 2...3%-ного раствора. При изготовлении раствора

используются баки с механическим перемешиванием (число баков не менее двух). Продолжительность растворения: при температуре воды 16...18° С —4...5 ч, при 50° С —2 ч. Ввиду высокой коррозионной активности раствора внутренняя поверхность баков должна иметь покрытие из кислотостойкого материала.

Подача реагентов. Приборы для подачи в воду необходимого количества реагента называются дозаторами. Дозаторы могут подавать в воду постоянное количество реагента (дозаторы постоянного расхода) или автоматически менять количество подаваемого реагента в зависимости от изменения расхода воды, т. е. обеспечить постоянную дозу реагента (пропорциональные дозаторы). В зависимости от вида реагента различают дозаторы растворов и суспензии (мокрое дозирование) и дозаторы порошковых и гранулированных реагентов (сухое дозирование). На практике исполь-

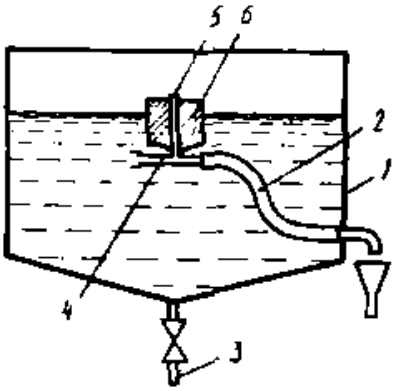


Рис. 4.8. Схема простейшего дозатора постоянного расхода:
1 — бак раствора или суспензии реагента; 2 — шланг; 3 — опорожнение; 4 — диафрагма; 5 — воздушная трубка; 6 — поплавок

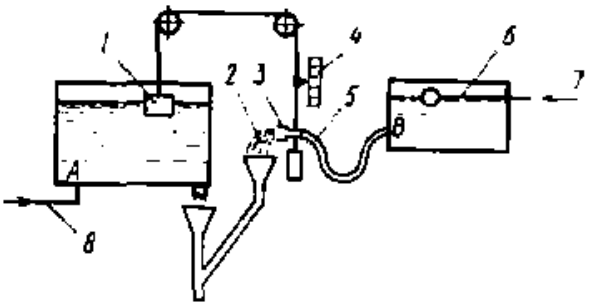


Рис. 4.9. Схема самотечного пропорционального дозатора:
1 — поплавок; 2 — подача реагента к воду; 3 — трубка с диафрагмой; 4 — шкала; 5 — шланг; 6 — поплавковый клапан; 7 — подача раствора реагента; 8 — часть обрабатываемой воды

зуются как самотечные дозаторы, применяемые для подачи реагента в безнапорные сооружения и коммуникации, так и напорные дозаторы, подающие реагент под избыточным давлением.

Схема простейшего самотечного дозатора постоянного расхода представлена на рис. 4.8. Здесь расход раствора или суспензии можно изменить заменой диафрагмы.

Самотечный пропорциональный дозатор (рис. 4.9) состоит из двух бачков А и В. В бачок А поступает часть обрабатываемой воды, уровень воды в баке меняется пропорционально изменению расхода воды. В бачок В поступает раствор реагента, причем постоянный уровень в бачке поддерживается поплавковым клапаном 6.

На рис. 4.10 приведена схема шайбового дозатора. Это пропорциональный напорный дозатор, состоящий из двух последовательно работающих бачков А и В, которые при помощи импульсных трубок присоединены к трубопроводу воды. На трубопроводе установлена шайба, перепад давления на которой пропорционален расходу воды в трубопроводе.

При небольшом солесодержании воды (150...250 мг/л) целесообразно применить пропорциональный дозатор Чейшвили — Крымского (рис. 4.11), действие которого основывается на изменении электропроводности воды в результате коагулирования. Отличительной особенностью данного дозатора по сравнению с предыдущими является то, что он обеспечит постоянную дозу реагента при разной крепости поступающего раствора реагента. Основными элементами дозатора являются электролитические ячейки 6 и 9, разность электропровод-

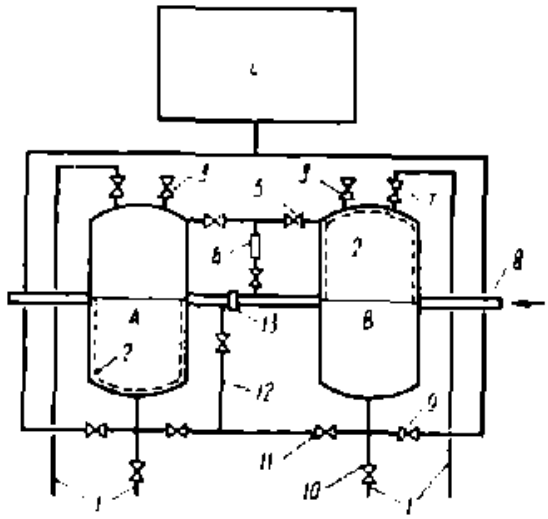


Рис. 4.10. Схема шайбового дозатора:
1 — опорожнение; 2 — резиновый мешок; 3 — воздушная трубка; 4 — бак раствора реагента; 5, 7, 9, 10, 11 — регулировочные вентили; 6 — ротаметр; 8 — трубопровод обрабатываемой воды; 12 — поступление раствора реагента; 13 — шайба

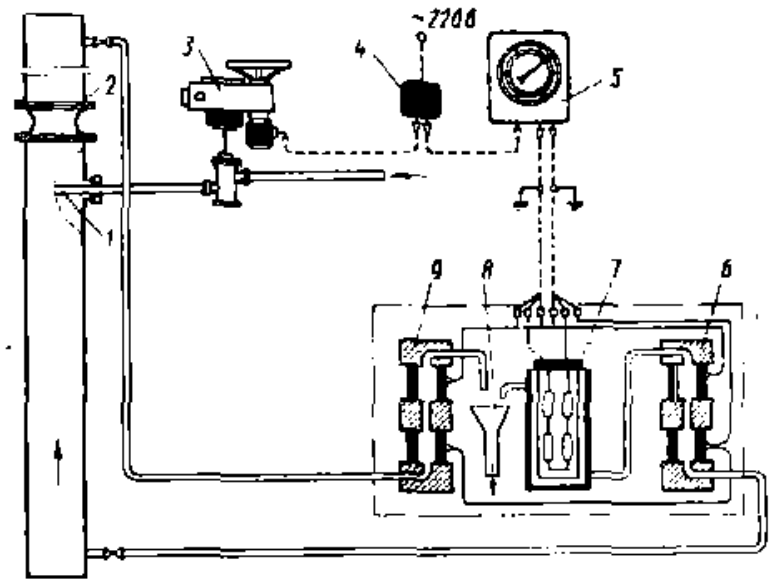


Рис. 4.11. Схема дозатора системы Чейшвили — Крымского:
1 — отдозированный раствор коагулянта; 2 — шайбовый смеситель; 3 — вентиль с электроприводом для регулировки подачи коагулянта; 4 — магнитный пускатель; 5 — измерительный прибор; 6 — электролитическая ячейка некоагулированной воды; 7 — компенсатор; 8 — сливная воронка; 9 — электролитическая ячейка коагулированной воды

ности которых пропорциональна концентрации вводимого коагулянта.

Для подачи известкового молока можно использовать пропорциональный дозатор марки ДИМБА (рис. 4.12). Данный дозатор состоит из емкости, которая разделена вертикальными перегородками на три бункера. В первый бункер поступает известковое молоко из расходного бака, в нем поддерживается постоянный уровень суспензии при помощи постоянно работающего

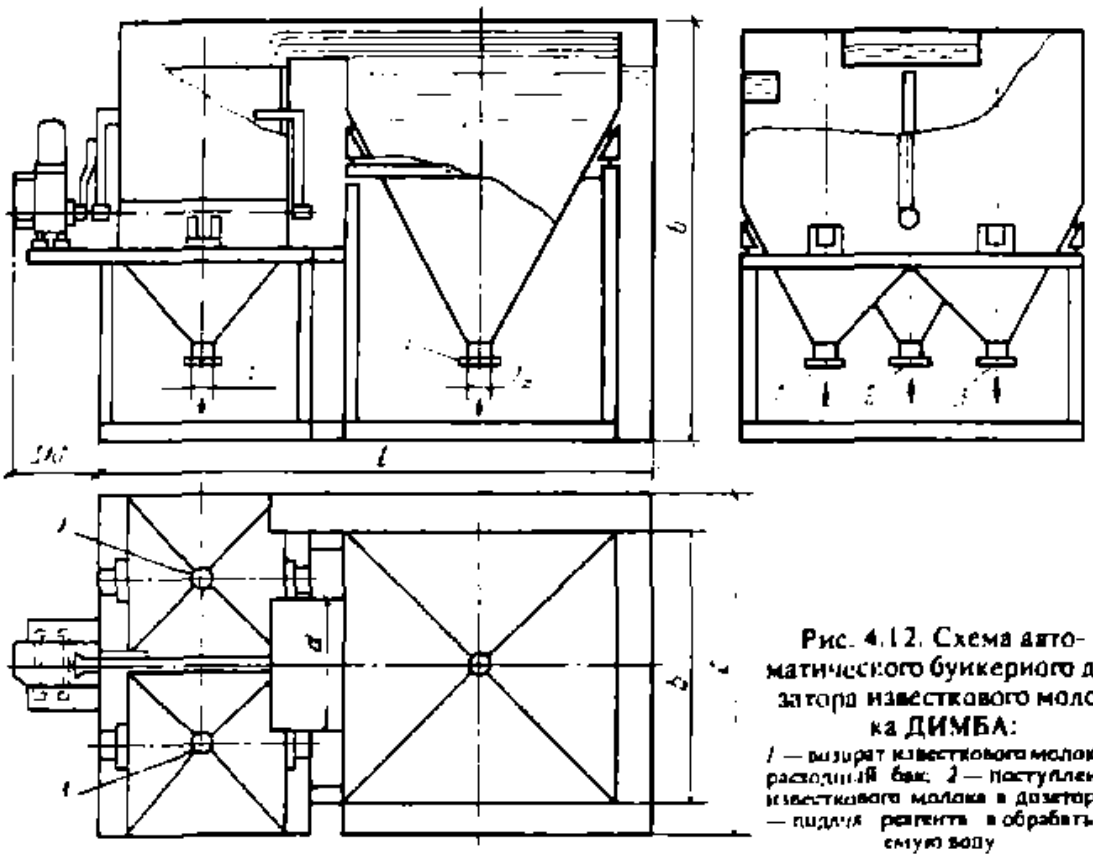


Рис. 4.12. Схема автоматического буикериого дозатора известкового молока ДИМБА:

1 — возврат известкового молока в расходный бак; *2* — поступление известкового молока в дозатор; *3* — подача реагента в обрабатываемую воду

водослива и возврата части известкового молока в расходный бак. Этим обеспечивается необходимая циркуляция суспензии, которая предотвращает отстаивание частиц извести. Второй бункер служит для сбора и возврата суспензии, из третьего происходит подача известкового молока в воду. Дозатор оборудован исполнительным механизмом, который поворачивает нож-делитель, рассекающий струйку суспензии, на две части: одна в третий бункер для подачи, вторая — во второй бункер на возврат в расходный бак. Исполнительный механизм связан с pH-метром или расходомером, обеспечивая этим автоматитическое поддержание заданного pH или дозы извести.

Дозатор может быть использован и для подачи раствора сернокислого алюминия. В табл. 4.7 приводится техническая характеристика дозаторов марки ДИМБА.

Таблица 4.7. **Техническая характеристика дозаторов марки ДИМБА**

Тип дозатора	Полезная производительность, м³/ч	Расход суспензии, подаваемой в дозатор	Мощность электродвигателя исполнительного механизма, Вт	Размеры, мм (см. рис. 4.12)							Общая масса, кг
				a	*b*	*c*	*e*	*g*	d_y	*d*	
Димба-1	*1*	*2*	*60*	*100*	*250*	*400*	*800*	*756*	*40*	*70*	*45*
Димба-3	3	6	60	180	350	520	1000	935	50	70	70
Димба-10	10	15	180	220	400	600	910	785	50	80	160
Димба-20	20	30	180	320	600	800	1200	1035	80	100	250
Димба-40	40	60	180	500	900	1155	1940	1420	100	100	548

Наиболее современным способом дозировки растворов и суспензии следует считать применение специальных насосов-дозаторов, в основном типа НД (рис. 4.13), которые базируются на использовании плунжерных насосов. В табл. 4.8 приведена номенклатура *этих насосов дозаторов, причем первая цифра в марке насоса означает* его подачу в л/ч, вторая — развиваемый напор в м.

Таблица 4.8. **Номенклатура насосов-дозаторов**

Марка насоса	Диаметр выходного патрубка, мм	Марка электродвигателя	Марка насоса	Диаметр выходного патрубка, мм	Марка электродвигателя
НД 100/100	10	АОЛ-21-4	НД 40/100	10	АО 2-21-4
НД 16/63	10	То же	НД 63/100	10	То же
НД 26/40	10	»	НД 400/16	25	»
НД 40/25	10	»	НД 630/10	25	»
НД 63/16	10	»	НД 1000/10	32	АО 2-31-4
НД 100/10	10	»	НД 1600/10	32	АО 2-32-54
НД 100/25	15	АО 2-11-4	НД 2500/10	40	То же
НД 160/400	10	АО 2-21-4	НД 100/250	10	»
НД 25/250	10	То же			

При порошковых и гранулированных реагентах более целесообразно использовать сухое дозирование. Соответствующие дозаторы подают заданный вес (весовые дозаторы) или заданный объем реагента (объемные дозаторы). На рис. 4.14 приведена схема весового дозатора.

Отдозированный реагент направляется в смывное устройство, из которого забирается эжектором и подается в смеситель.

Отечественная промышленность выпускает весовые дозаторы типа ДВ производительностью 8...40; 40...120; 120...400; 400...1000; 1000...2000; 2000...4000 кг/ч, дозаторы сыпучих материалов типа

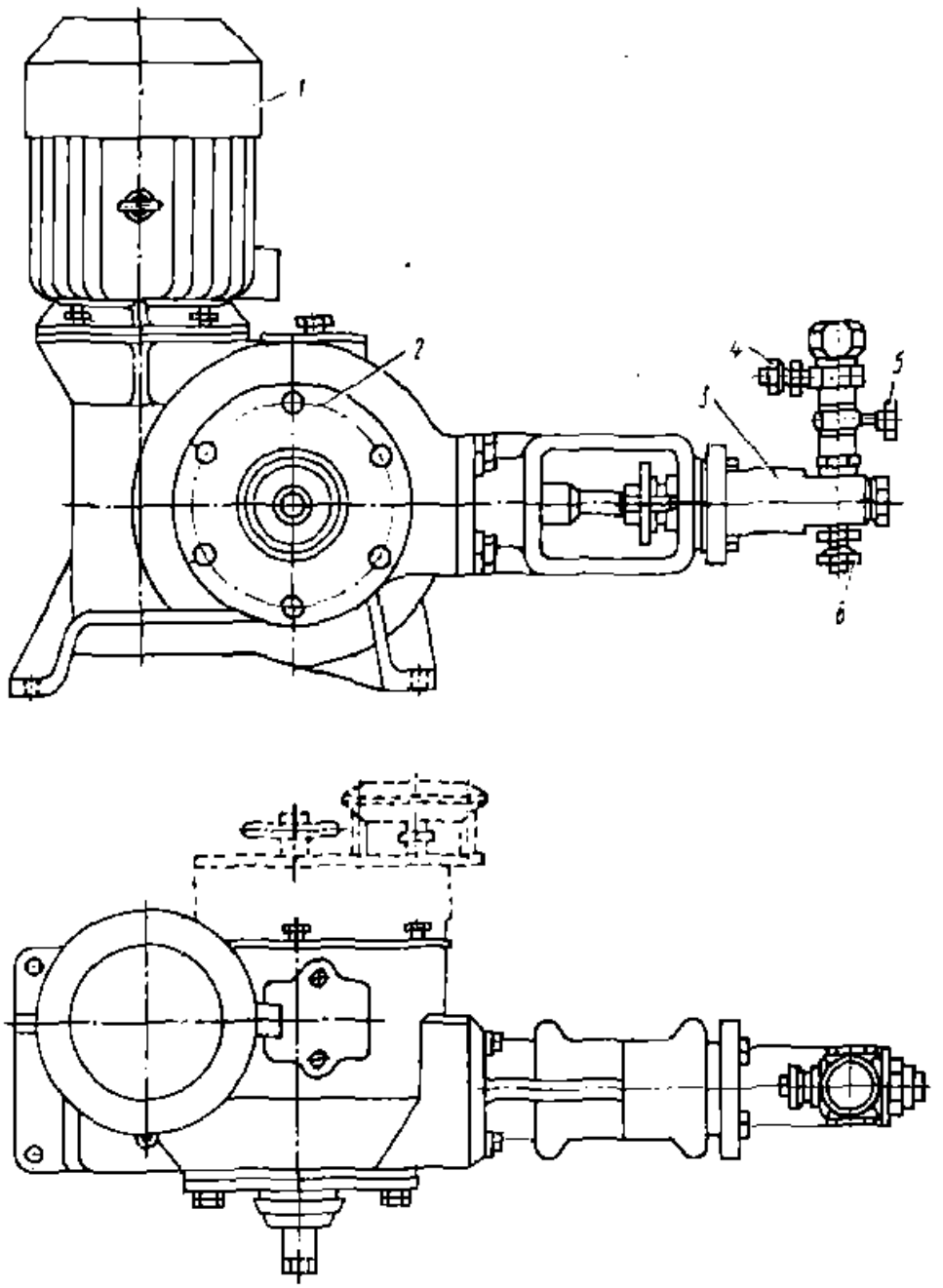


Рис. 4.13. Насос-дозатор марки НД:
1 — электродвигатель; *2* — редуктор; *3* — насос; *4, 5, 6* — дренажный, напорный и всасывающий патрубки

ДН производительностью 0,1...160; 0,1...320; 0,1...630; 0,1...1000 и 0,1...1600 кг/ч.

Смесители и камеры хлопьеобразования. Смесители применяются для быстрого и равномерного распределения реагента со всей массой обрабатываемой воды. Необходимо перемешивать с оптимальной интенсивностью, при малой интенстивности реагент распределится

неравномерно и образуются непрочные хлопья, а при чрезмерной интенсивности образуется много мелких хлопьев. Интенсивность перемешивания можно оценить градиентом скорости, $с^{-1}$:

$$G = \left(\frac{P}{V\eta}\right)^{0,5}, \qquad (4.9)$$

где P — суммарная мощность, использованная на перемешивание, Вт; V — объем воды в смесителе, $м^3$; η — динамическая вязкость воды, Па·с.

Оптимальное значение G на перемешивание при использовании сульфата алюминия находится в пределах 150...300 $с^{-1}$, при более эффективных коагулянтах и флокулянтах оно может доходить до 1000 $с^{-1}$. На станции должно быть *не менее двух смесителей*, имеющих обводные коммуникации. Запасные смесители не предусматриваются.

Для смешивания реагента в потоке воды образуют вихри. В зависимости от способа их образования смесители подразделяют на гидравлические, где вихри создаются местными гидравлическими сопротивлениями, и механические с перемешиванием воды лопастями или пропеллерами.

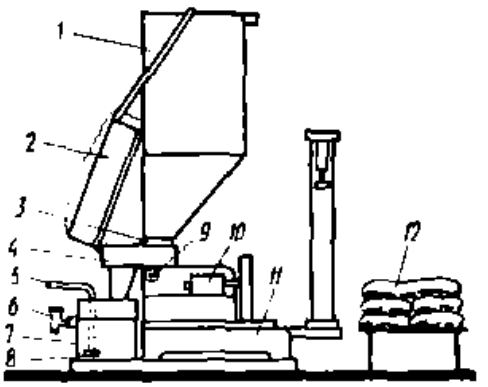


Рис. 4.14. Общий вид весового дозатора:
1 — питающий бункер; 2 — загрузочное устройство; 3 — подающий механизм; 4 — коробка передач; 5 — подача воды; 6 — выпуск готового раствора; 7 — растворная камера; 8 — перемешивающая струя; 9 — регулятор подачи реагента; 10 — электродвигатель; 11 — весы; 12 — реагент в таре

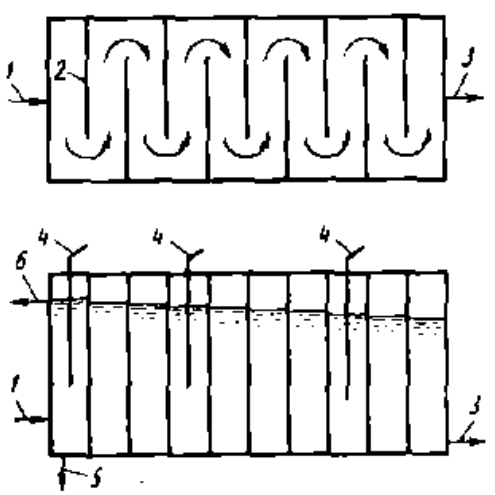


Рис. 4.15. Схема перегородчатого смесителя с горизонтальным движением воды:
1 — сырая вода; 2 — перегородки; 3 — перемешанная с реагентами вода; 4 — реагенты; 5 — опорожнение; 6 — перелив

Гидравлические смесители подразделяют на перегородчатые и вихревые (вертикальные). Перегородчатые смесители представляют собой канал с установленными там перегородками, которые обусловливают 9 ... 10 поворотов потока на 180° в горизонтальной или в вертикальной плоскости (рис. 4.15). Конструкция смесителя должна обеспечить возможность ввода реагентов с необходимым интервалом времени. Поскольку в смесителе должна проходить первая, перикинетическая фаза коагуляции, которая проходит в течение короткого времени и заканчивается образованием микрохлопьев, то в смесителях гидравлического типа время пребывания воды должно быть 2...3 мин.

Потеря напора на одном повороте потока, м,

$$h = \zeta \frac{v^2}{2g}, \qquad (4.10)$$

где $\zeta = 2{,}9$ — коэффициент местного сопротивления; v — скорость движения воды в смесителе, принимаемая на входе 0,7 и на выходе 0,5 м/с.

В вертикальном (вихревом) смесителе необходимые вихри образуются благодаря постоянному уменьшению скорости восходящего потока воды в конической (пирамидальной) части смесителя. Смеситель представляет собой круглый или прямоугольный в плане резервуар с конической (пирамидальной) нижней частью (рис. 4.16). Высота вертикальной части смесителя составляет 1...1,5 м, скорость поступления воды в смеситель — 1,2...1,5 м/с, скорость восходящего потока на уровне лотков 3—30...40 мм/с, скорость течения воды в конце лотка —0,6 м/с.

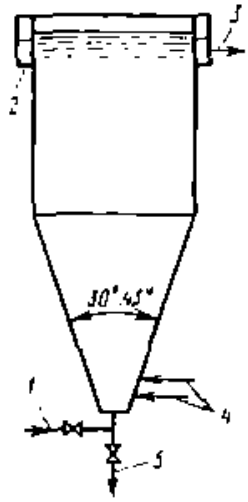


Рис. 4.16. Схема вертикального смесителя:
1 — сырая вода; 2 — сборный лоток; 3 — перемешанная с реагентами вода; 4 — подача реагентов; 5 — опорожнение

Подача реагентов в смеситель производится через специальные патрубки или перфорированные распределительные трубы, обеспечивающие равномерное распределение реагента по всему сечению смесителя.

Для смешивания реагента с водой реагент можно подавать перед местными сопротивлениями на трубопроводах диафрагмами, трубами Вентури и др. Такие сооружения называют трубчатыми смесителями, они могут применяться на станциях малой производительности. Необходимое перемешивание достигается при потере напора в них не менее 0,3...0,4 м.

Более современным типом смесителей являются механические смесители (рис. 4.17). Они более компактны и позволяют управлять процессом

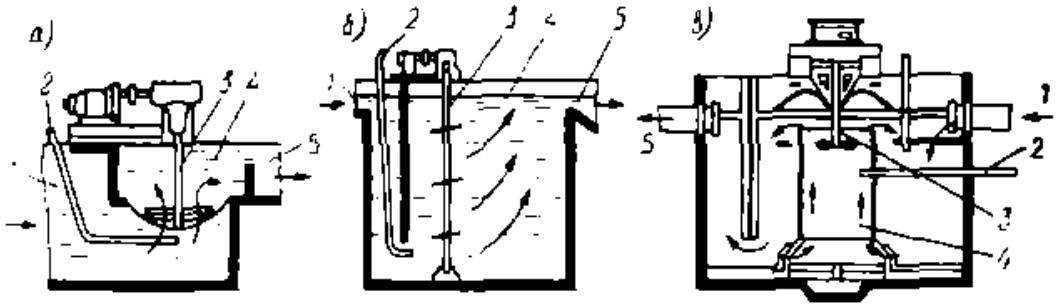


Рис. 4.17. Механические смесители турбинного (*а*), лопастного (*б*) и пропеллерного (*в*) типов:
1 — поступление воды; 2 — ввод реагента; 3 — ось мешалки; 4 — камера смешения; 5 — отвод воды

перемешивания путем изменения скорости вращения перемешивающих устройств. Это необходимо по мере изменения свойств сырой воды. В механических смесителях для смешивания используются мешалки турбинного, лопастного или пропеллерного типа, установленные на вертикальном валу. Частота вращения перемешивающих устройств варьируется обычно от 80 мин$^{-1}$ (турбинные мешалки) до 1750 мин$^{-1}$ (пропеллерные мешалки). Для расчета градиента скорости по формуле (4.9) можно суммарную мощность на перемешивание определить по формуле

$$P = 2\pi n T, \tag{4.11}$$

где n — частота вращения вала, с$^{-1}$; T — начальный момент вращения, Н·м.

При смесителях гидравлического типа можно суммарную мощность определить по формуле

$$P = \frac{\Delta H V}{t} = \Delta H Q, \tag{4.12}$$

где ΔH — потеря напора смесителя, Па; V — объем смесителя, м^3; t — продолжительность перемешивания, с; Q — расход, м^3/с.

Продолжительность смешивания (время пребывания воды в смесителе) составляет при механических смесителях обычно 30...60 с.

Камеры хлопьеобразования используются после смесителей перед отстойниками и флотационными установками для завершения второй стадии процесса коагуляции — образования крупных хлопьев. С этой целью в камерах хлопьеобразования происходит медленное перемешивание потока, исключающее разрушение образующихся хлопьев. Камеры хлопьеобразования могут быть гидравлического или механического типа. Последние называются флокуляторами. Камеры обычно встроены в начальную часть отстойника.

Из гидравлических камер при горизонтальных отстойниках используются перегородчатые и вихревые камеры хлопьеобразования, а также камеры со слоем взвешенного осадка (зашламленного типа). При вертикальных отстойниках применяют водоворотные камеры.

Перегородчатые камеры имеют 8...10 перегородок, обусловливающих движение воды по коридорам с поворотами в горизонтальной или вертикальной плоскости (рис. 4.18). Скорость течения воды в начале камеры — 0,2...0,3, в конце — 0,05...0,1 м/с. Время пребывания воды в камере 20...30 мин, потеря напора определяется по формуле (4.10). В перегородчатых камерах должна быть возможность отключения части коридоров. Для этого имеются специальные затворы *3*.

Вихревые (вертикальные) камеры могут быть в плане круглые или прямоугольные (рис. 4.19). Скорость течения воды на входе 0,7...1,2 м/с, скорость восходящего потока на выходе — 4...5

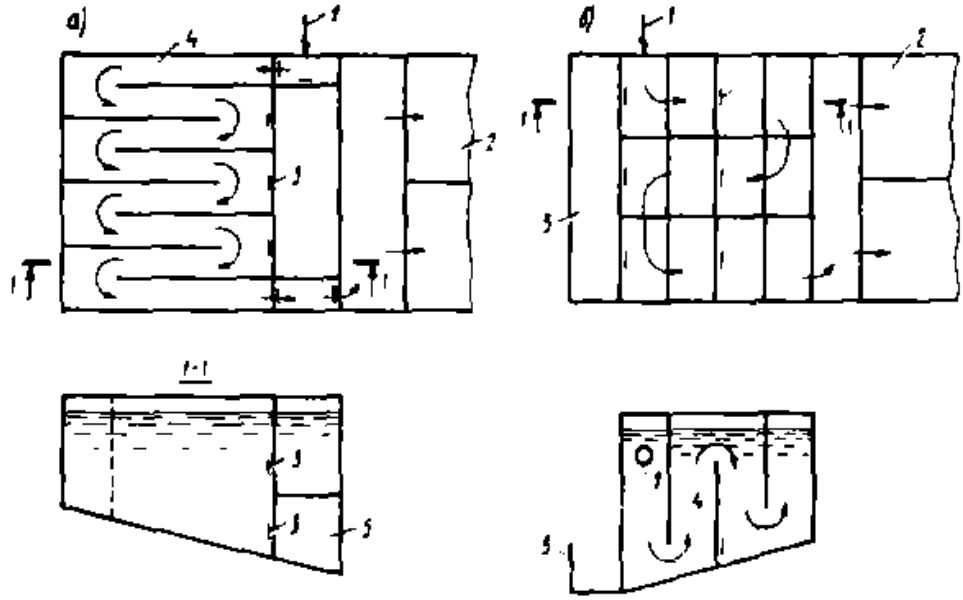


Рис. 4.18. Схема перегородчатой камеры хлопьеобразования с поворотами потока в горизонтальной (а) и в вертикальной (б) плоскостях:
1 — поступление воды из смесителя; 2 — отстойник; 3 — окна, закрытыми затворами; 4 — коридоры; 5 — канал опорожнения

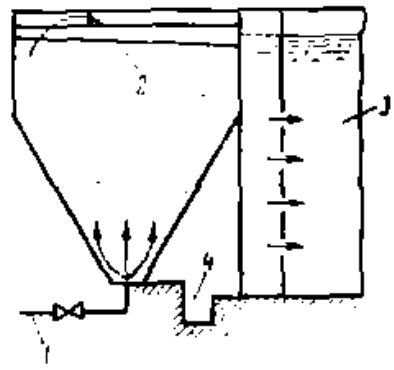


Рис. 4.19. Вихревая камера хлопьеобразования:
1 — поступление воды из смесителя; 2 — сборный лоток; 3 — отстойники; 4 — сборный канал осадка

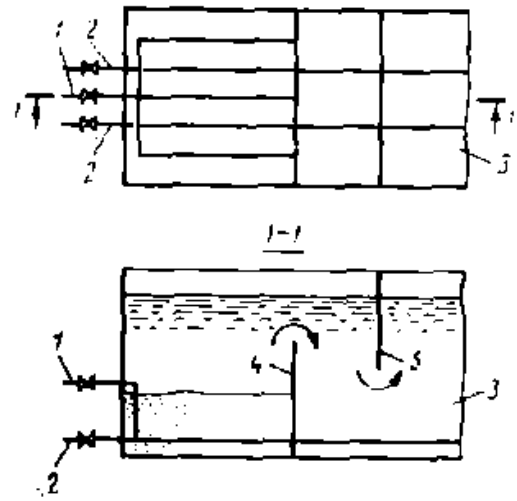


Рис. 4.20. Камеры хлопьеобразования со слоем взвешенного осадка:
1 — поступающая вода из смесителя; 2 — отвод осадка; 3 — отстойник; 4 — водослив; 5 — отбойный щит

мм/с, время пребывания воды в камере — 6...12 мин. Потеря напора в камере определяется по формуле (4.10). Скорость течения воды в коммуникациях, соединяющих камеру с отстойниками при мутных водах не должна превышать 0,1, при цветных — 0,05 м/с.

В камерах хлопьеобразования со слоем взвешенного осадка (рис. 4.20) поступающий поток воды, содержащий микрохлопья,

направляется через слой взвешенного осадка, который образуется при определенной скорости восходящего потока (0,65...1,6 мм/с — воды умеренной мутности, 0,8...2,2 мм/с — мутные воды).

Поступающая вода распределяется перфорированными трубами, установленными по дну камеры (расстояние между трубами 2 м, расстояние от стен 1 м, диаметр отверстий не менее 25 мм, отверстия направлены вниз под углом 45°, суммарная площадь отверстий 30...40% от площади сечения распределительных труб, скорость течения воды в начале труб 0,5...0,6 м/с). Потеря напора в распредтрубе определяется по формуле (4.10), причем величина коэффициента сопротивления определяется по формуле

$$\zeta = \frac{2,2}{K_п^2} + 1, \qquad (4.13)$$

где $K_п$ — коэффициент перфорации.

Скорость течения воды на водосливе 4 не должна превышать 0,05...0,1 м/с, в пространстве между водосливом и отбойным щитом — 0,03 м/с.

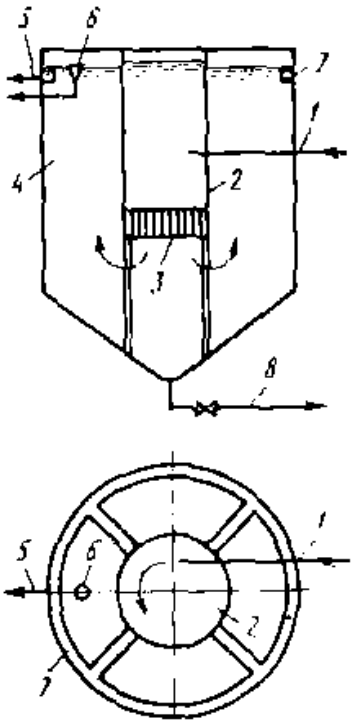


Рис. 4.21. Схема вертикального отстойника с водоворотной камерой хлопьеобразования:
1 — поступающая вода из смесителя; 2 — водоворотная камера хлопьеобразования; 3 — гаситель турбулентности потока; 4 — вертикальный смеситель; 5 — отвод осветленной воды из отстойника; 6 — перелив; 7 — сборный лоток; 8 — отвод осадка

Водоворотная камера хлопьеобразования (рис. 4.21) устанавливается в центре вертикального отстойника. Она представляет собой вертикальный цилиндр с насадком, придающим поступающей воде вращательное движение, и гасителем 3 в виде решетки. Скорость выхода воды из отверстий насадка принимают 2...3 м/с, при расчете потери напора по формуле (4.10) коэффициент сопротивления принимают $\zeta = 1,18$. Насадки устанавливаются на 0,5 глубины камеры, на расстоянии $0,2d$ от ее стенки (d — диаметр водоворотной камеры). Решетка 3 имеет общую толщину 0,8 м при отверстиях 0,5×0,5 м. Высоту камеры выбирают 3,5...4 м, время пребывания воды 15 ... 20 мин.

Наилучшие условия для хлопьеобразования обеспечиваются при градиенте скорости $G = 50...60$ с$^{-1}$, причем его величина определяется формулами (4.9) и (4.12) или по формулам:

а) для перегородчатых камер

$$G = \left\{ \frac{[mv_1^2 + (m-1)v_2^2]Q\rho}{2V\eta} \right\}^{0,5}; \qquad (4.14)$$

б) для вихревых и водоворотных камер

$$G=\left(\frac{\rho v^2 Q}{2V\eta}\right)^{0,5}, \qquad (4.15)$$

где m — число перегородок; v_1 и v_2 — скорости движения воды соответственно в коридоре и на повороте, м/с; Q — расход воды, $м^3/с$; ρ — плотность воды, $кг/м^3$; V — объем камеры, $м^3$; η — динамическая вязкость воды, Па·с; v — скорость входа воды в камеру из подводящего трубопровода, м/с.

Для флокуляторов градиент скорости можно рассчитать по формулам (4.9) и (4.11).

Во флокуляторах умеренное перемешивание воды обычно производится лопастями, вращающимися вокруг горизонтальной оси (рис. 4.22).

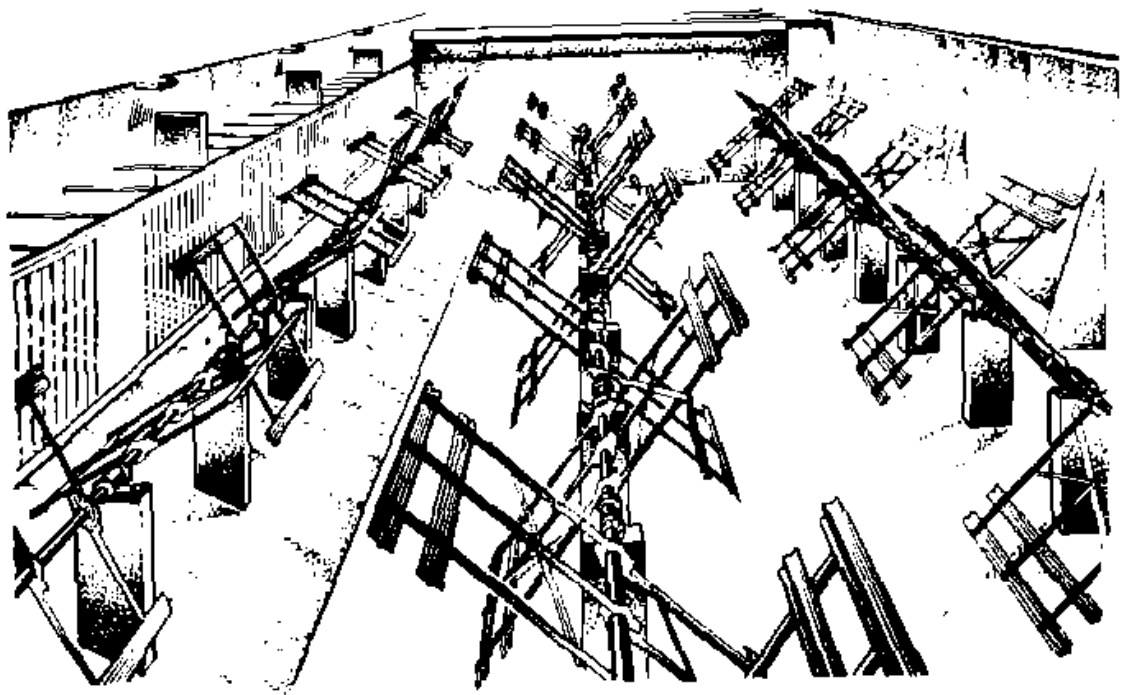


Рис. 4.22. Флокулятор

Схема наиболее простого флокулятора приведена на рис. 4.23. Для определения оптимальных размеров и частоты вращения лопастей, а также времени пребывания воды во флокуляторе исходят из градиента скорости и безразмерного критерия Кэмпа GT (T — продолжительность перемешивания).

При флокуляторе (рис. 4.23) суммарную мощность, Вт, на перемешивание можно вместо формулы (4.11) рассчитать в виде

$$P=510C_D A v_2^3, \qquad (4.16)$$

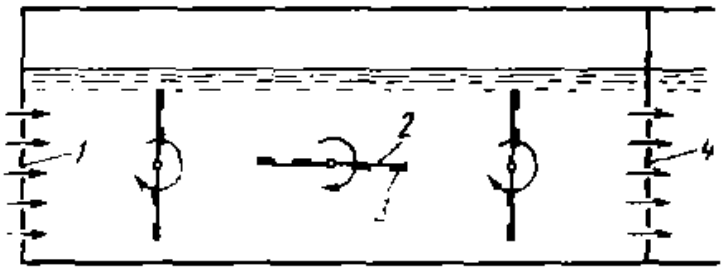


Рис. 4.23. Схема простейшего флокулятора:
1 — поступление воды из смесителя; 2 — рама крепления лопастей; 3 — лопасти; 4 — отвод воды в отстойник

где C_D — коэффициент сопротивления воды, зависит от соотношения длины лопасти l к ее ширине b и принимается:

$$\text{при } l/b = 5\ C_D = 1{,}2;\ \text{при } l/b = 20,\ C_D = 1{,}5;$$

$$\text{при } l/b \to \infty,\ C_D = 1{,}9;$$

A — площадь лопасти, м^2; $v_л$ — скорость движения лопасти относительно воды, м/с, принимается 75% от линейной скорости движения лопасти, которая, как правило, находится в пределах 18...75 см/с.

Суммарная площадь лопастей не должна превышать 15...20% площади поперечного сечения флокулятора, чтобы избежать вращения всего объема воды вместе с лопастями.

ГЛАВА 5

МЕТОДЫ И СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ

5.1. Осветление воды в отстойниках

Определение расчетной скорости осаждения. Поскольку примеси природных вод разные по размеру и плотности, т. е. взвесь полидисперсная, то осаждение частиц происходит с разной скоростью. В результате коагулирования воды скорость осаждения частиц меняется, поэтому расчетная скорость осаждения полидисперсной взвеси характеризуется экспериментальной кривой осаждаемости (кривой выпадения взвеси). Для построения кривой берут 5...6 цилиндров с коническим дном и заполняют их до определенной высоты H исследуемой водой. В разные моменты времени определяется содержание взвешенных веществ в конической части цилиндров. На основе полученных данных можно построить график, характеризующий кинетику осаждения (рис. 5.1, *а*). Если t — продолжительность отстаивания, то H/t представляет собой гидравлическую крупность частиц или некую фиктивную минимальную скорость осаждения тех частиц, которые к моменту взятия пробы выпали в коническую часть цилиндра. Исходя из этого можно на основе графика на рис. 5.1,

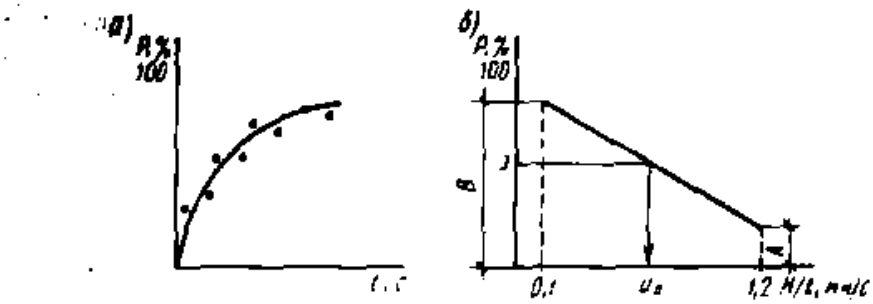


Рис. 5.1. Графики выпадения полидисперсной взвеси:
а — кривая кинетики осаждения; *б* — кривая осаждаемости, *р* — процентное содержание выпавших в данному моменту времени взвешенных веществ

а построить кривую осаждаемости, которая в интервале $H/t = 0{,}1...1{,}2$ мм/с, как показывает практика, представляется прямой линией (рис. 5.1, *б*). Зная требуемый эффект очистки отстойника Э и пользуясь данной прямой, можно определить расчетную скорость осаждения v_0.

Поскольку график представляет собой прямую линию, необходимо определить процентное содержание взвеси только для двух гидравлических крупностей —0,1 и 1,2 мм — соответственно *B* и *A*. В таком случае расчетную скорость можно определить по формуле

$$u_0 = \frac{1{,}2B - 0{,}1A - 1{,}1Э}{B - A}. \qquad (5.1)$$

При коагулированной взвеси рекомендуется экспериментальное определение расчетной скорости осаждения провести в цилиндрах высотой 3 м и диаметром 75...100 м, а при отсутствии данных технологических исследованиях можно расчетную скорость принимать согласно рекомендациям табл. 5.1

Таблица 5.1. **Расчетные скорости осаждения взвесей для разных вод**

Характеристика воды и способы ее обработки	u_0, мм/с
Маломутные цветные воды, обрабатываемые коагулянтом	0,35...0,45
Воды средней мутности, обрабатываемые коагулянтом	0,45...0,5
Мутные воды, обрабатываемые:	
коагулянтом	0,5...0,6
флокулянтом	0,2...0,3
Мутные воды, не обрабатываемые коагулянтом	0,08...0,15

В случае применения флокулянтов дополнительно к коагулированию расчетную скорость осаждения следует увеличить на 15...20%.

Горизонтальные отстойники. Применяемые в практике водоподготовки отстойники подразделяют на горизонтальные, вертикальные и радиальные. Кроме того, используются также отстойники с малой глубиной осаждения.

Горизонтальные отстойники применяются в качестве сооружений для очистки воды от основной массы взвешенных веществ перед фильтрами при производительности станции более 30 000 м³/сут. При высокомутных водах (концентрация взвешенных веществ более 1500 мг/л), когда используется двухступенное осаждение, горизонтальные отстойники могут применяться и в качестве отстойников первой ступени. Для исполной очистки воды в производственных нуждах горизонтальные отстойники иногда являются основными сооружениями.

В горизонтальных отстойниках очищается предварительно коагулированная вода.

Горизонтальный отстойник представляет собой прямоугольный в плане резервуар с тонкослойными блоками (рис. 5.2, *а*) или без них (рис. 5.2, *б*). Объем отстойника разделен условной горизонтальной плоскостью на две зоны — зону осаждения и зону накопления и уплотнения осадка. Для равномерного распределения воды в начале отстойника часто устанавливают *перфорированную перегородку*. Для предотвращения подсоса осадка сбор осветленной воды производят системой рассредоточенно расположенных желобов или дырчатых труб.

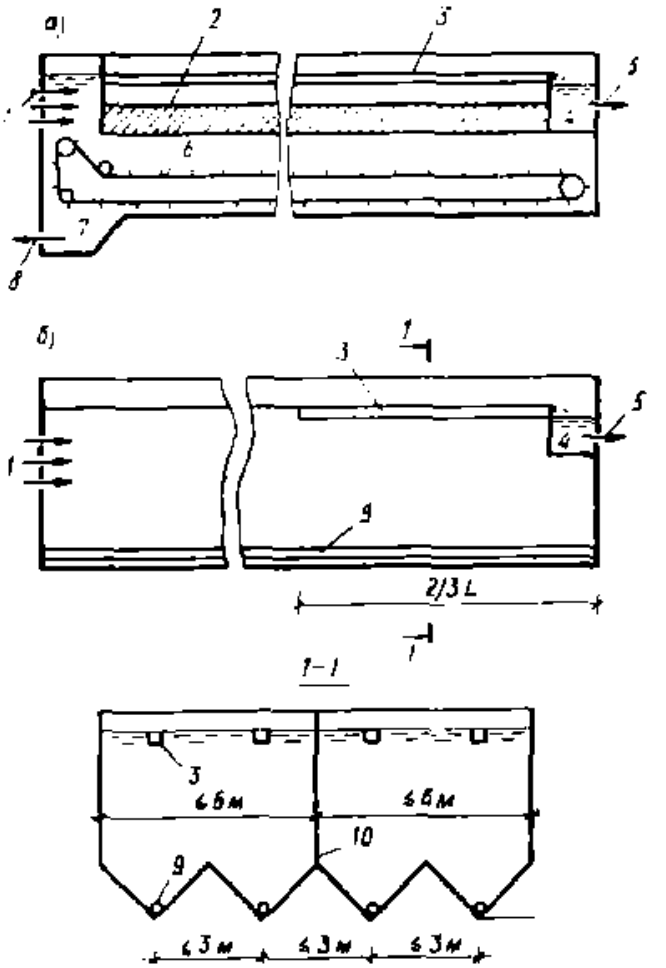


Рис. 5.2. Схема горизонтального отстойника:
а — с тонкослойными блоками и с механическим удалением осадка; *б* — без тонкослойных блоков с гидравлическим удалением осадка; *1* — поступление воды из камеры хлопьеобразования через перфорированную перегородку; *2* — тонкослойные блоки; *3* — системы рассредоточенно расположенных лотков для сбора осветленной воды; *4* — сборный канал; *5* — отвод осветленной воды; *6* — скребковый механизм; *7* — осадкосборник; *8* — отвод осадка; *9* — сборный трубопровод осадка; *10* — продольная перегородка между секциями

Удаление осадка из горизонтального отстойника происходит гидравлическим или механическим способом, а также при помощи напорного гидравлического смыва осадка, который используется при *осветлении мутных и высокомутных вод.*

При гидравлическом удалении осадка на дно отстойника устанавливают перфорированные трубы или короба, отвод осадка по ним происходит под гидростатическим давлением слоя воды после

открытия задвижки или затвора (рис. 5.2, *б*). Механическое удаление осадка происходит обычно скребковым механизмом (рис. 5.2, *а*), который соскребает осадок в приямок, откуда он откачивается эжектором или иловым насосом.

Подача воды в отстойник при гидравлическом или механическом удалении осадка не прекращается.

Напорная гидравлическая система смыва осадка включает систему распределительных труб с насадками, через которые в отстойник под напором подается вода (рис. 5.3). В результате уплотненный слой осадка взмучивается и отводится по перфорированным трубам или каналам. При этом отстойник выключается из работы и опорожняется.

При отводе осадка трубопроводами или каналами дно отстойника должно быть призматическим с углом наклона граней 45° в сторону труб или условно плоским с уклоном не менее 0,05. При

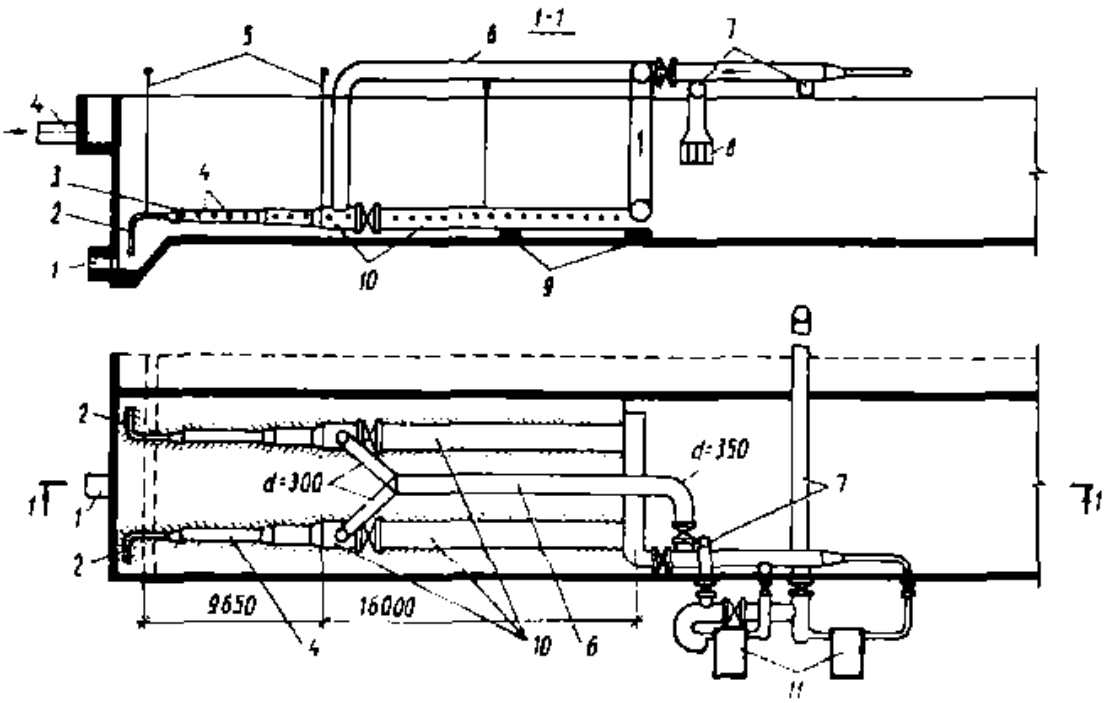


Рис. 5.3. Схема напорной гидравлической системы удаления осадка:
1 — сброс осадка из отстойника; 2 — насадки; 3 — патрубки для подачи воды под напором; 4 — подача исходной воды; 5 — манометры; 6 — нагнетательный трубопровод; 7 — всасывающий трубопровод; 8 — обратный клапан; 9 — подставки; 10 — телескопические перфорированные коллекторы, 11 — насосы

механическом удалении осадка дно отстойника плоское. При гидравлическом отводе осадка необходим также продольный уклон в направлении против течения воды не менее 0,005.

Горизонтальные отстойники устанавливаются в здании или вне здания при условии их покрытия и обсыпки землей с боков и сверху. Это необходимо во избежание образования ледяного покрова на поверхности бассейна. В покрытии устраивают люки и

вентиляционные отверстия, а также через каждые 10 м отверстия для взятия проб воды.

Расчет горизонтального отстойника сводится к определению площади отстойника при заданной глубине осаждения и эффекта очистки. Для учета наиболее неблагоприятных условий эксплуатации расчет производится для зимнего периода, когда мутность воды и расход минимальны, и для летнего периода, когда мутность и расход максимальны. За основу берется большее из двух значений, рассчитываемых по формуле, м^2,

$$A_{г.о} = \frac{a_{об} q}{3{,}6 u_0}, \qquad (5.2)$$

где q — расчетный расход воды, м^3/ч; u_0 — расчетная скорость осаждения, определяемая методом технологического анализа или принимаемая из табл. 5.1, мм/с; $a_{об}$ — коэффициент объемного использования отстойника.

При установке в зоне осаждения тонкослойных блоков исходят из удельной нагрузки на площадь зеркала воды $q/A_{г.о}$ для маломутных, цветных вод, обрабатываемых коагулянтом, — 3...3,5 м^3/(ч·м^2); для вод средней мутности — 3,6...4,5 м^3/ч·м^2; для мутных вод — 4,6...5,5 м^3/ч·м^2.

Длина отстойника, м,

$$L = \frac{H_{ср} v_{ср}}{3{,}6 u_0}, \qquad (5.3)$$

где $H_{ср}$ = 3...3,5 м — средняя высота зоны осаждения; $v_{ср}$ — средняя скорость горизонтального движения воды в начале отстойника, которая принимается: для маломутных вод — 6...8 мм/с, для вод средней мутности — 7...10, для мутных вод — 9...12 мм/с.

Затем определяют общую ширину отстойника B, причем отстойник должен быть разделен продольными перегородками на *самостоятельно работающие секции шириной до 6 м. При количестве* секции менее шести необходимо предусмотреть одну резервную секцию.

Перфорированные трубы или желоба с затопленными отверстиями или треугольными вырезами, применяемые для сбора осветленной воды, устанавливаются при наличии тонкослойных блоков по всей длине отстойника, при их отсутствии — на расстоянии $^2/_3$ длины, считая со стороны выхода воды. Скорость течения воды в конце труб (желобов) принимается 0,6...0,8 м/с, в отверстиях — 1 м/с. Глубина отверстий определяется гидравлическим расчетом. Кромка желобов должна находиться на 10 см выше максимального уровня воды в отстойнике, отверстия в желобе — на 5...8 см выше дна желоба. При использовании перфорированных труб диаметр отверстий принимают не менее 25 мм, отверстия устанавливают горизонтально по оси труб. Расстояние между трубами или желобами должно быть

не более 3 м, излив воды из труб или желобов в сборный канал должен происходить свободно падающей струей.

При механическом удалении осадка объем зоны накопления и уплотнения осадка определяется конструкцией скребкового механизма. При гидравлическом удалении, а также при напорном гидравлическом смыве осадка объем зоны накопления и уплотнения осадка, м^3, определяется по формуле

$$V_{ос.у} = \frac{qT_р(C_{исх} - M_{осв})}{\delta N}, \qquad (5.4)$$

где $T_р$ — период работы отстойника между сбросами осадка принимается не менее 12 ч; $C_{исх}$ — концентрация взвешенных веществ в поступающей в отстойник воде, г/м^3, определяется по формуле (5.5) с учетом добавочной мутности в результате введения реагентов; $M_{осв} = 8...15$ г/м^3 — нормированное содержание взвешенных веществ в воде после отстойника; δ — средняя концентрация твердой фазы в уплотненном слое осадка, г/м^3, принимается из табл. 5.2; N — число рабочих отстойников.

Таблица 5.2. **Концентрация твердой фазы осадка при разной исходной мутности воды и продолжительности уплотнения осадка**

Мутность исходной воды, г/м^3	Применяемые реагенты	Средняя по высоте осадочной части отстойника концентрация твердой фазы в осадке, г/м^3, при интервалах между сбросами осадка, ч		
		6	12	24 и более
До 50	Коагулянт	9000	12 000	15 000
50...100	»	12 000	16 000	20 000
100...400	»	20 000	32 000	40 000
400...1000	»	35 000	50 000	60 000
1000...1500	»	80 000	100 000	120 000
Свыше 1500	Флокулянт	90 000	140 000	160 000
» 1500	Без реагентов	200 000	250 000	300 000

Примечание. При обработке воды коагулянтом совместно с флокулянтом среднюю концентрацию твердой фазы в осадке надлежит принимать на 25% больше для маломутных вод и на 15% для вод средней мутности.

$$C_{исх} = M + k_к Д_к + 0{,}25Ц + B_ш, \qquad (5.5)$$

где M — мутность поступающей на обработку воды, г/м^3; $Д_к$ — доза коагулянта по безводному веществу, г/м^3; $Д_ф$ — доза коагулянта по безводному веществу, г/м^3; $k_к$ — коэффициент, учитывающий содержание активного вещества в коагулянте и принимаемый для очищенного сульфата алюминия 0,5; нефелинового коагулянта 1,2;

хлорного железа 0,7; $Ц$ — цветность воды, град; $B_и = Д_и/K_и$ — количество нерастворимых примесей, вводимых известью, г/м^3; $Д_и$ — доза извести по CaO, г/м^3; $K_и$ — долевое содержание CaO в товарном продукте извести.

Осадкоотводные трубы отстойника должны быть рассчитаны на отвод осадка в течение 20...30 мин. Расстояние между трубами принимается не более 3 м при призматическом и не более 2 м при условном плоском дне. Скорость течения пульпы в конце труб принимается не менее 1 м/с, в отверстиях — не менее 1,5...2 м/с. Диаметр отверстий — не менее 25 мм, расстояние между отверстиями в трубе — 300...500 мм. Отверстия располагаются в шахматном порядке и направлены вниз под углом 45°. Коэффициент перфорации принимают 0,5...0,7. Потерю напора в трубе определяют по формуле (4.10), при этом коэффициент сопротивления

$$\zeta = 3{,}3/K_{п}^{1{,}8}, \qquad (5.6)$$

где $K_п$ — коэффициент перфорации.

Поскольку вместе с осадком уходит и определенное количество воды, то при определении фактического расхода пульпы необходимо принимать следующие коэффициенты разбавления осадка $K_р$: при гидравлическом удалении — 1,5; механическом — 1,2; при напорном гидравлическом смыве — 2...3.

В случае использования напорного гидравлического смыва осадка на дно отстойника устанавливают телескопические напорные трубы с патрубками (рис. 5.3). При ширине секции до 4,5 м укладывают две трубы, при ширине до 6 м — три трубы в каждую секцию. Бронзовые патрубки длиной 60 мм и диаметром 10 мм присоединяют к трубам через каждые 1...1,5 м в горизонтальной плоскости под углом 45° к продольной оси трубы в сторону выпуска осадка. При удалении осадка подачу воды в отстойник прекращают, отстойник опорожняется на одну треть. Подачей воды через систему труб с патрубками осадок переводится во взвешенное состояние, после чего отстойник опорожняется до конца.

Вертикальные и радиальные отстойники. Вертикальные отстойники применяют на станциях с производительностью до 5000 м^3/сут. Отстойник представляет собой круглый или квадратный в плане резервуар с коническим или пирамидальным дном для накопления и уплотнения осадка и камерой хлопьеобразования водоворотного типа, которая устанавливается в центре отстойника (см. рис. 4.21). Угол между наклонными стенками дна принимается 70...80°, сбор осветленной воды осуществляется перфорированными или имеющими треугольные вырезы желобами. Если площадь отстойника до 12 м^2, используется только периферийный желоб, установленный вдоль наружной стенки отстойника. При площади 12...30 м^2 дополнительно используется четыре радиальных желоба,

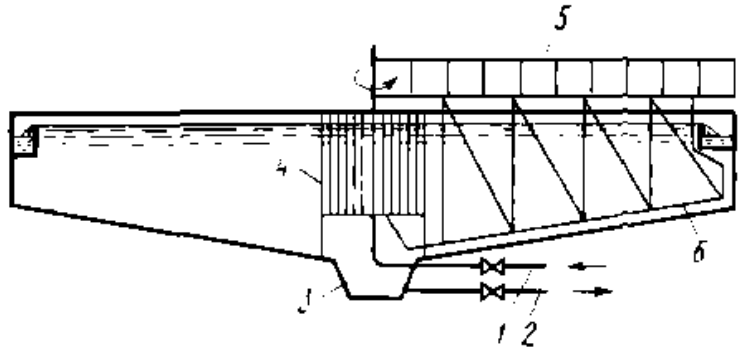


Рис. 5.4. Схема радиального отстойника:
1 — поступление воды; 2 — отвод осадка; 3 — приямок для сбора осадка; 4 — распределительная камера; 5 — мостик для обслуживания; 6 — скребковый механизм

при площади более 30 м^2 количество радиальных желобов принимается 6...8.

Площадь вертикального отстойника, м^2, рассчитывается так же, как и горизонтального, для двух периодов — зимнего и летнего:

$$\Lambda_{в,п} = \beta_{об} \frac{q}{3{,}6 v_p N}, \tag{5.7}$$

где $\beta_{об}$ — коэффициент объектного использования, принимаемый по соотношению диаметра к высоте вертикальной части отстойника: при $D/H = 1$ $\beta_{об} = 1{,}3$; при $D/H = 1{,}5$ $\beta_{об} = 1{,}5$; v_p—расчетная скорость восходящего потока воды, мм/с, величина которого принимается не более приведенных в табл. 5.1 или определяется экспериментально; N — число работающих отстойников.

Отвод осадка происходит открытием задвижки на осадкоотводной трубе, диаметр которой принимают 150...200 мм.

Поскольку объем зоны накопления и уплотнения осадка вертикального отстойника предопределен размерами отстойника в плане и углом между наклонными стенками, то формула (5.4) используется для проверки продолжительности периода работы отстойника между сбросами осадка, который должен быть не менее 6 ч:

$$T_p = \frac{v_{ос.т} \delta N}{g (C_{исх} - M_{осв})}. \tag{5.8}$$

При установке в зоне осаждения тонкослойных блоков площадь вертикального отстойника определяется по удельной нагрузке аналогично требованиям, существующим для расчета горизонтальных отстойников.

Радиальные отстойники (рис. 5.4) используются в качестве отстойников первой ступени при двухступенном отстаивании, которое

применяется в условиях осветления высокомутных вод. Данный тип отстойников широко используется в системах промышленного водоснабжения. Для радиального отстойника характерны высокая производительность и постоянный отвод осадка без прекращения работы отстойника. Это осуществляется постоянным вращением скребкового механизма и отводом осадка из приямка. В результате этого в радиальном отстойнике зона накопления и уплотнения осадка практически отсутствует. Отстойник представляет собой круглый в плане резервуар, куда вода поступает через перфорированную стенку центральной распределительной камеры и отводится периферийным желобом с затопленными отверстиями или треугольными вырезами.

Диаметр распределительной камеры принимают 1,5...2,5 м, диаметр перфораций — 40...50 мм, скорость течения воды в отверстиях — 1 м/с. При коагулировании воды распределительная камера используется одновременно в качестве камеры хлопьеобразования. Площадь радиального отстойника, м^2,

$$A_{р.о} = 0{,}2\left(\frac{q}{u_0}\right)^{1{,}07} + A_{в.з.} \qquad (5.9)$$

где $u_0 = 0{,}5...0{,}6$ мм/с — расчетная скорость осаждения взвеси; $A_{в.з.}$ — площадь образующейся вокруг камеры распределения вихревой зоны, диаметр которой принимается на 2 м больше диаметра распределительной камеры. На практике используются и более совершенные конструкции радиальных отстойников с рециркуляцией осадка и установкой тонкослойных блоков (рис. 5.5).

Сооружение отстаивания с малой глубиной осаждения. При горизонтальном движении воды имеет место определенная турбулентность потока, что препятствует быстрому осаждению примесей. Поэтому для интенсификации процесса осаждения потребуется ламинаризация потока, что достигается установкой в зону осаждения пластин, труб или элементов специальной конструкции, образующих тонкослойный блок (модуль). Такой метод отстаивания называется тонкослойным отстаиванием, соответствующие сооружения — отстойниками с малой глубиной осаждения или тонкослойными отстойниками. Наиболее часто тонкослойный блок выполняется в виде пакета труб. Такое сооружение называется трубчатым отстойником. Метод тонкослойного отстаивания осуществляется как в самостоятельных сооружениях (рис. 5.6), так и установкой тонкослойных блоков в отстойники или осветлители.

Толщина слоя воды в каналах тонкослойного блока 2...5 см, длина каналов до 1,5 м. Блоки изготовляют из полимерных материалов, обеспечивающих легкое сползание осадка при обратной промывке. Угол наклона элементов принимается обычно 60°.

Использование тонкослойного отстаивания позволяет повысить производительность отстойника на единицу его площади в 3 раза и более.

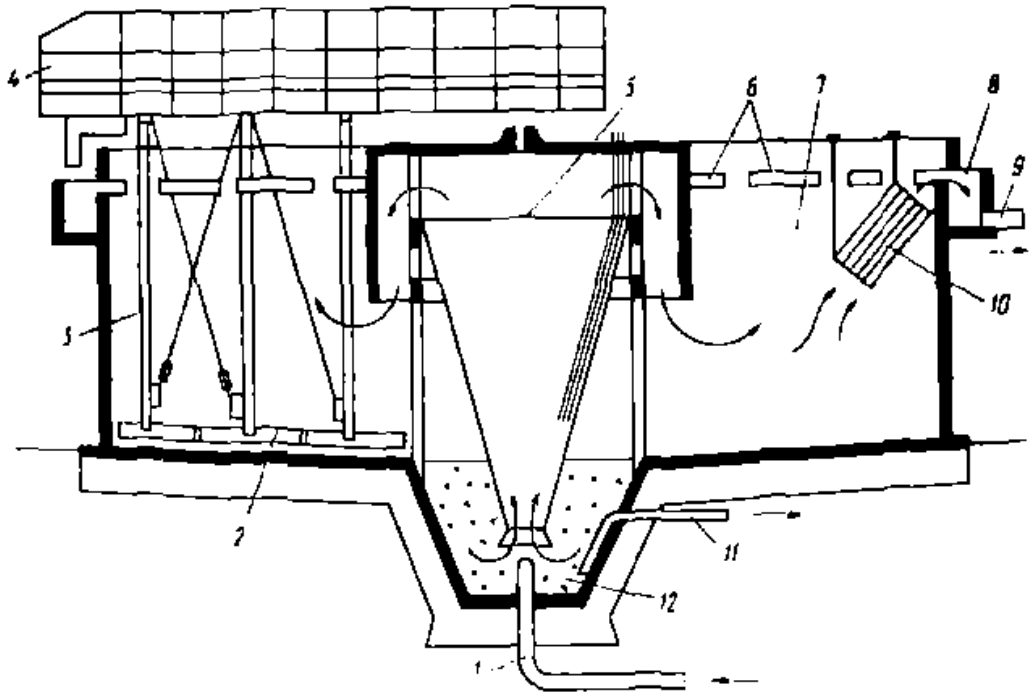


Рис. 5.5. Радиальный отстойник с рециркуляцией осадка и тонкослойными блоками:

1 — подача воды; 2 — скребки; 3 — ферма; 4 — мостик; 5 — диффузор; 6 — водосливные окна; 7 — зона осветления воды; 8 — кольцевой сборный желоб; 9 — отвод воды; 10 — тонкослойные блоки; 11 — отвод осадка; 12 — приямок

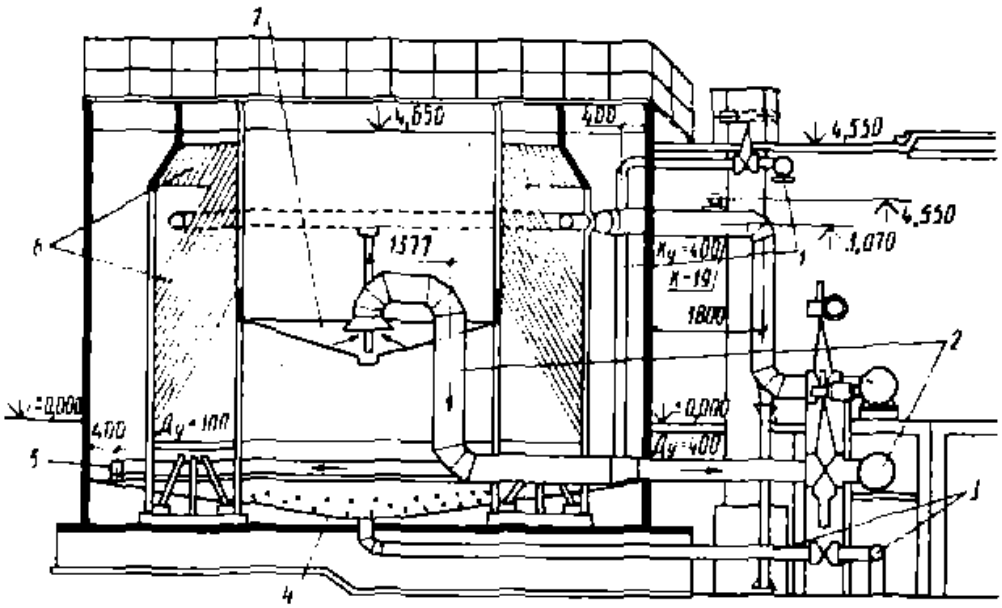


Рис. 5.6. Тонкослойный отстойник конструкции Союзводоканалпроекта:

1 — подача исходной воды; 2 — отвод осветленной воды; 3 — сброс осадка; 4 — осадкосборник; 5 — перфорированная водораспределительная труба; 6 — тонкослойные блоки; 7 — водосборная воронка

5.2. Осветление воды в осветлителях со взвешенным осадком

Осветлители со взвешенным осадком применяются на водоочистных станциях хозяйственно-питьевого назначения при производительности станции свыше 5000 м^3/сут, если содержание взвешенных веществ исходной воды находится в пределах 50 ... 1500 мг/л и цветность не превышает 120°. Осветлители используют взамен отстойников перед фильтрами с зернистой загрузкой. Применяют осветлители и в системах промышленного водоснабжения при любой производительности станции.

Работа осветлителей основывается на прохождении коагулированной воды через концентрированный слой осадка, где происходит задержание примесей. При этом можно достичь более высокого по сравнению с отстойниками эффекта осветления воды, увеличить производительность, отведенную на единицу объема сооружения.

В осветлителе имеет место стесненное осаждение, т. е. осаждение концентрированной массы взвешенных частиц. Если скорость осаждения отдельной частицы (гидравлическая крупность) зависит от физических свойств воды и самой частицы, то скорость осаждения массы этих частиц будет зависеть еще и от их объемной концентрации. При неизменных свойствах поступающей воды и условии коагулирования существует обратная функциональная связь между скоростью стесненного осаждения и концентрацией взвешенных веществ в слое (плотностью слоя). При стабильном взвешенном слое скорость восходящего потока воды в слое всегда соответствует скорости стесненного осаждения. Благодаря этому слой при изменении расхода поступающей воды сохраняется — с уменьшением скорости восходящего потока в результате сжатия слоя происходит увеличение его объемной концентрации, скорость стесненного осаждения уменьшается, пока становится равной скорости восходящего потока. С увеличением расхода поступающей воды будет происходить обратный процесс. Скорость стесненного осаждения всегда меньше, чем гидравлическая крупность образующих слой частиц.

Для создания и сохранения слоя с оптимальной толщиной и плотностью необходимо соблюдать правильную скорость восходящего потока и выбирать подходящий режим коагулирования воды. При этом изменения расхода воды и ее температуры должны быть плавными — постепенное изменение расхода не должно превышать ±15% в течение часа, изменение температуры ± 1°С в 1 ч. Интенсивное изменение температуры воды обусловит возникновение во взвешенном слое конвективных течений, что снизит эффект его работы. Отрицательно воздействуют на слой и пузырьки воздуха, поэтому перед слоем взвешенного осадка должны всегда быть воздухоотделители. Отдельные камеры хлопьеобразования перед осветлителями со взвешенным осадком отсутствуют.

По конструкции можно осветлители классифицировать на две группы — осветлители без механического перемешивания (рис. 5.7 ... 5.9) и с механическим перемешиванием (см. рис. 5.10); по способу отвода избыточного осадка из слоя — на сооружения с принудительным отсосом (см. рис. 5.7 ... 5.9) и гравитационным отбором осадка (см. рис. 5.10); по расположению осадкоуплотнителя — на осветлители с вертикальным осадкоуплотнителем (см. рис. 5.7; 5.8) и с поддонным осадкоуплотнителем (см. рис. 5.9). Осветлители могут быть как открытые, так и напорные.

Наиболее проста конструкция осветлителя коридорного типа с вертикальным осадкоуплотнителем и принудительным отсосом осадка (рис. 5.7). Осветлитель представляет собой прямоугольный железобетонный резервуар, разделенный вертикальными перегородками на три коридора — на две камеры осветления *А* и осадкоуплотнитель *Б*. Коагулированная вода распределяется в нижнюю часть камеры осветления по перфорированному трубопроводу *1*. В пирамидальной части высотой h_0 ввиду большой скорости восходящего потока взвешенный слой не образуется. Сечение, в котором скорость восходящего потока становится равной 2 мм/с, условно определяет нижнюю границу взвешенного слоя. Нижняя кромка осадкоотводных окон *5* определяет верхнюю расчетную границу взвешенного слоя. Поскольку вместе с осадками в осадкоуплотнитель уходит и часть воды, в зоне осветления II скорость восходящего потока уменьшается, что обеспечит осаждение там выносимых из слоя взвешенных частиц. Распределение воды между зонами осветления и отделения характеризует коэффициент распределения

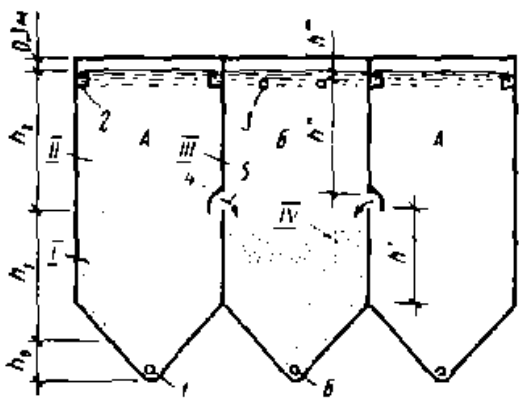


Рис. 5.7. Схема осветлителя коридорного типа с вертикальным осадкоуплотнителем:

А — камера осветления, Б — осадкоуплотнитель; I — взвешенный слой; II — зона осветления; III — зона отделения; IV — зона накопления и уплотнения осадка; 1 — перфорированный трубопровод поступающей воды; 2 — сборные желоба осветленной воды; 3 — сборный трубопровод осветленной воды; 4 — козырьки; 5 — осадкоотводные окна; 6 — трубопровод отвода уплотненного осадка

$$K_p = \frac{q - q_{oc}}{q},$$

где q — расход воды, поступающей в осветлитель; q_{oc} — расход воды, направляемый через окна в осадкоуплотнитель.

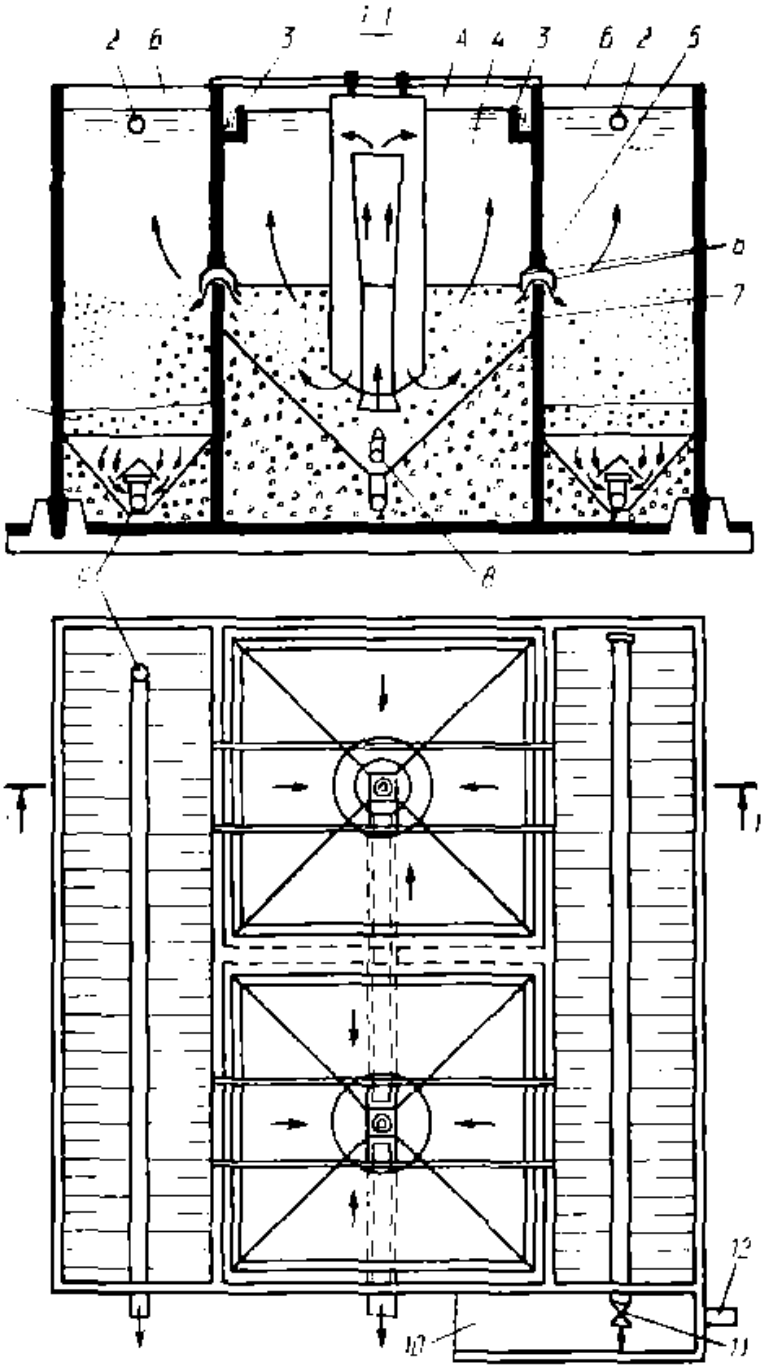


Рис. 5.8. Осветлитель коридорного типа с рециркуляцией осадка:

А — камеры осветления; Б — осадкоуплотнители; 1 — слой уплотненного осадка; 2 — сборные дырчатые трубы осветленной воды; 3 — сборные желоба; 4 — зоны осветления; 5 — осадкоотводные окна; 6 — защитные козырьки; 7 — слой взвешенного осадка; 8 — подача исходной воды; 9 — сброс осадка; 10 — сборный бетонный карман; 11 — задвижка регулирования принудительного отвода осадка; 12 — отвод воды на фильтры

Осветленная вода из зоны осветления собирается желобами, имеющими треугольные вырезы, из осадкоуплотнителя — затопленными дырчатыми трубами. Открытием задвижки на трубопроводе можно регулировать значение $q_{ос}$ и вместе с тем $K_р$, т. е. обеспечить принудительный отсос осадка в осадкоуплотнитель.

В зонах осветления и отделения могут быть установлены тонкослойные блоки.

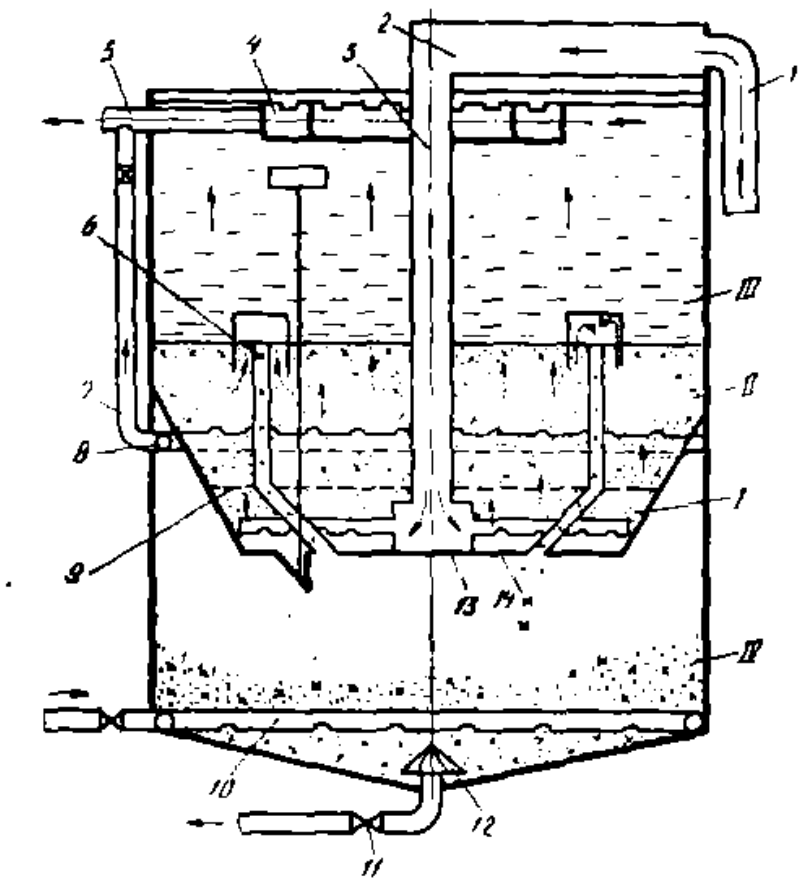


Рис. 5.9. Осветлитель с поддонным осадкоуплотнителем конструкции ВНИИГС-2:

I — зона распределения воды; II — зона коагуляции и хлопьеобразования; III — зона осветления; IV — зона накопления и уплотнения осадка; 1 — подача воды; 2 — лотки воздухоотделителя; 3 — подающий стояк; 4 — кольцевой сборный желоб; 5 — отвод воды; 6 — осадкоотводящие спускные трубы; 7 — отвод осветленной воды из осадкоуплотнителя; 8 — кольцевой сборный перфорированный трубопровод; 9 — дырчатое днище; 10 — подача воды для взрыхления осадка; 11 — сброс осадка; 12 — отражатель; 13 — распределительный цилиндр с перфорированными трубами; 14 — герметичное «глухое дно»

На рис. 5.8 приведена конструкция осветлителя коридорного типа с рециркуляцией осадка. Для уменьшения общей площади осветлителей и обеспечения равномерного по всей площади камеры осветления отвода воды в осадкоуплотнитель применяют осветлители с поддонным осадкоуплотнителем (рис. 5.9). В этих осветлителях камера

осветления установлена над осадкоуплотнителем и отделена от него герметичной перегородкой.

В осветлителях с механическим перемешиванием для обеспечения лучшего контакта воды с осадком исходная вода направляется в осветлитель через камеру перемешивания — флокулятор. К примеру на рис. 5.10 приведена схема акселератора.

Осветлители с механическим перемешиванием более

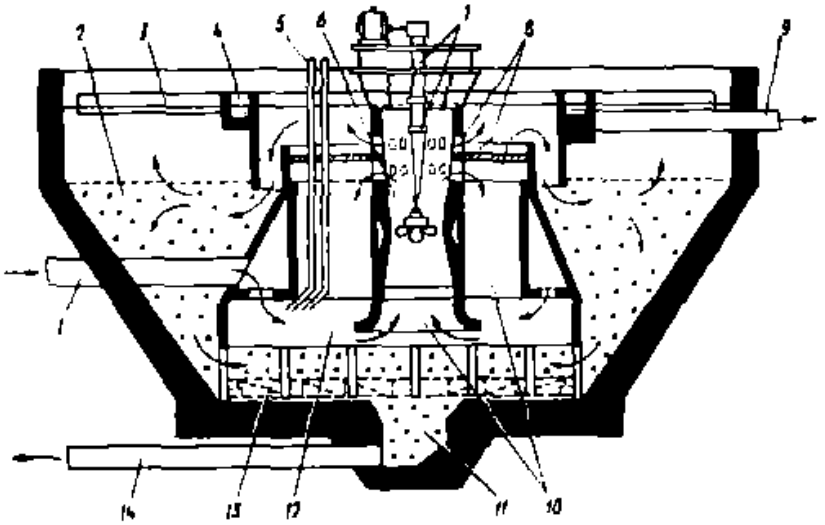


Рис. 5.10. Осветлитель с предварительным механическим перемешиванием осадка:

1 — подача исходной воды; 2 — зона осветления; 3 — радиальный желоб; 4 — кольцевой желоб; 5 — подача реагентов; 6 — центрально расположенный стакан; 7 — ось турбины; 8 — окна отвода воды из зоны первичного хлопьеобразования; 9 — отвод осветленной воды; 10 — зона рециркуляции взвешенного осадка; 11 — приямок для осадка; 12 — зона смешения реагентов с водой; 13 — зона накопления и уплотнения осадка; 14 — сброс осадка

производительны; эффект осветления воды в них выше, однако конструкция таких осветлителей по сравнению с осветлителями гидравлического типа более сложна.

На рис. 5.11 представлена схема пульсатора, в котором устойчивость взвешенного слоя достигается благодаря чередующемуся с короткими периодами (5 ... 20 с) процессу сжатия и расширения слоя. Для этого используют вакуумный насос.

Площадь осветлителей так же, как и отстойников, рассчитывается отдельно для двух наиболее неблагоприятных периодов — зимнего и летнего.

Площадь зоны осветления, м^2,

$$A_{осв} = \frac{qK_p}{3{,}6v_{осв}}, \qquad (5.10)$$

где $v_{осв}$ — скорость восходящего потока в зоне осветления, мм/с.

При определении расчетных значений $v_{осв}$ и K_p необходимо учитывать сезонные колебания свойств исходной воды, что требует

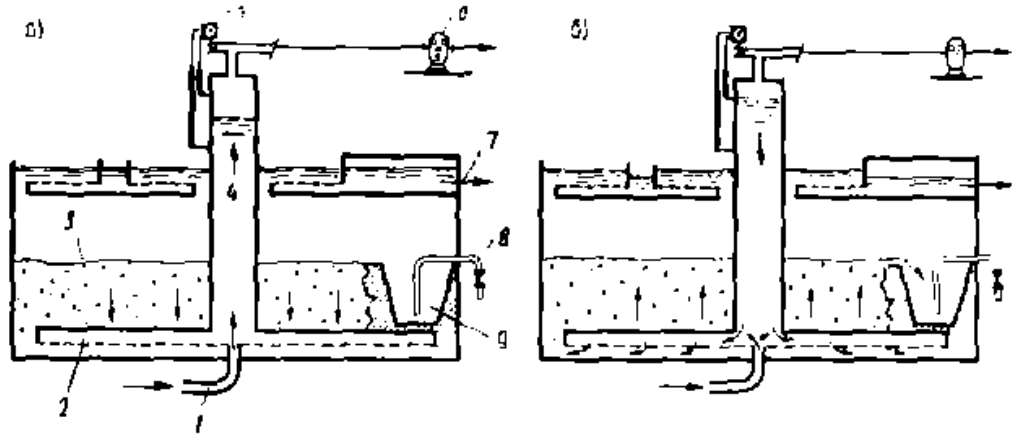


Рис. 5.11. Пульсатор:

а — вакуум-насос работает; б — вакуум-насос отключен; 1 — подача исходной воды; 2 — перфорированный распределительный трубопровод; 3 — взвешенный слой; 4 — вакуумная камера; 5 — реле; 6 — вакуум-насос; 7 — отвод осветленной воды; 8 — отвод осадка; 9 — зона накопления осадка

проведения технологических исследований. Если результатов таких исследований нет, можно пользоваться данными из табл. 5.3.

Площадь зоны отделения осадка, м^2,

$$A_{отд} = \frac{q(1-K_p)}{3{,}6v_{осв}}. \qquad (5.11)$$

Таблица 5.3. **Скорость восходящего потока и коэффициент распределения при разной мутности поступающей воды**

Мутность поступающей в осветлитель воды, мг/л	$v_{осв}$, мм/с		K_p
	зимой	летом	
50...100	0,5...0,6	0,7...0,8	0,7...0,8
100...400	0,6...0,8	0,8...1	0,8...0,7
400...1000	0,8...0,1	1...1,1	0,7...0,65
1000...1500	1...1,2	1,1...1,2	0,64...0,6

Примечания: 1. Для хозяйственно-питьевых водопроводов принимают нижние пределы. 2. При использовании дополнительно коагулянтов дозу флокулянтов следует увеличить на 15 ... 20%.

Если в зоны осветления и отделения устанавливают тонкослойные блоки, площади этих зон рассчитывают по удельной нагрузке аналогично расчету отстойников с тонкослойными блоками.

Согласно обозначениям на рис. 5.7 принимают: $h_1 = 2 \ldots 2{,}5$ м; $h_2 = 2 \ldots 2{,}5$ м; $h' = 1 \ldots 1{,}5$ м; h'' — не менее 1,5 м; h''' — не менее 0,3 м.

Угол между наклонными стенками дна камеры осветления должен составить 60 ... 70°, осадкоуплотнителя — 70°.

Распределение исходной воды происходит перфорированным трубопроводом, скорость течения воды в начале трубопровода 0,5 ... 0,6 м/с, в отверстиях —1,5 ...2 м/с, отверстия направлены вниз под углом 45° и устанавливаются в шахматном порядке. Диаметр отверстий не менее 25 мм, расстояние между ними не более 0,5 м.

В зоне осветления осветленная вода собирается желобами, имеющими треугольные вырезы (глубина вырезов 40 ... 60 мм, расстояние между вырезами 100 ... 150 мм, угол между кромками 60°). Скорость течения воды в желобе 0,5 ... 0,6 м/с.

В осадкоуплотнителе сбор осветленной воды осуществляется перфорированным затопленным трубопроводом (скорость течения воды в трубе 0,5 м/с, в отверстиях — не менее 1,5 м/с, диаметр отверстия 15 ... 20 мм). Дно сборной трубы должно находиться не менее 0,4 м выше уровня воды в общем сборном канале осветленной воды.

Скорость течения в осадкоотводных окнах принимается 10 ... 15 мм/с, в осадкоотводных трубах (при поддонном осадкоуплотнителе) 40 ... 60 мм/с.

Объем зоны накопления и уплотнения осадка определяют по формуле (5.4), причем период работы осветлителя $T_р$ между двумя сбросами осадка принимается не менее 6 ч, если на станции отсутствуют специальные осадкоуплотнители, и 2 ... 3 ч — при их наличии.

Отвод осадка производится по перфорированной трубе в течение 15 ... 20 мин. При этом коэффициент разбавления принимается 1,5, диаметр осадкоотводной трубы не менее 150 мм, скорость течения пульпы в отверстиях не менее 3 м/с, в конце трубы не менее 1 м/с, диаметр отверстий 20 мм, расстояние между отверстиями не более 0,5 м. Потеря напора в осадкоотводной трубе определяется по формуле (5.6).

Перед камерой осветления необходим воздухоотделитель, объем которого находят исходя из времени пребывания там воды не менее 1 мин. При определении площади воздухоотделителя скорость исходящего потока принимают 0,05 м/с.

Если на станции менее шести осветлителей, требуется один резервный.

5.3. Микрофильтры

Для удаления из воды водорослей и прочих макрозагрязнений используют вращающиеся барабаны с элементами из сеток и тканей различной плотности (рис. 5.12). Чаще всего используют сетки из нержавеющей стали или капрона, которые установлены в рамы между

двумя поддерживающими сетками с большим размером отверстий. Если в качестве процеживающего материала используется так называемая микросетка (размер отверстий 20 ... 60 мкм, 20 000 ... 40 000 отв/см^2), то такие сооружения называются микрофильтрами, если размер отверстий сетки 0,3 ... 0,5 мм — барабанными сетками. И те и другие используют перед вводом в обрабатываемую воду каких-либо реагентов. Основная цель микрофильтров — выделение из воды клеток планктона перед фильтрами с зернистой загрузкой. Применение микрофильтров предусматривается в тех случаях, когда период цветения водоема длится более одного месяца в году и среднемесячная концентрация клеток планктона в природной воде превышает 1000 клеток в 1 мл.

Микрофильтры устанавливают либо непосредственно в основном блоке водоочистной станции, либо в самостоятельном здании в сооружаемых для этой цели бассейнах. Если на станции более пяти микрофильтров, допускается установить в один бассейн два микрофильтра. При обосновании можно микрофильтры установить в береговом колодце водозабора.

Барабанные сетки используются вместо сеток на водозаборе, микрофильтры — дополнительно.

Исходная вода фильтруется в микрофильтре изнутри наружу и собирается в камере *5*, откуда через водослив *4* отводится в сборный канал. Примеси воды (клетки планктона, мусор, часть взвешенных веществ) остаются на внутренней поверхности микросетки и при вращении барабана в верхней его точке смываются струями воды от пластинчатых разбрызгивателей *9* в сборные воронки. Барабан затоплен примерно на $^3/_4$ диаметра, исходя из свойств воды барабан вращается постоянно или периодически. Ввиду накопления примесей на поверхности микросетки там образуется пленка, которая будет действовать дополнительным фильтром. Благодаря этому в микрофильтре задерживаются частицы, размер которых значительно меньше размера отверстий в сетке.

В результате гидравлического сопротивления сетки и пленки уровень воды в камере ниже уровня воды внутри барабана на 50 ... 200 мм. Это потеря напора микрофильтра ΔH.

Управление работой микрофильтра обычно автоматизировано и основывается на поддержании заданного ΔH регулированием частоты вращения барабана или периодическим включением промывки и вращения. Первый способ используется при постоянном вращении барабана, поскольку в таком случае продолжительность фильтроцикла микрофильтра (промежуток времени с момента погружения элемента сетки в воду до выхода из воды) определяется частотой вращения барабана. Большей скорости вращения соответствует меньшее значение ΔH. При периодическом вращении барабан приводится автоматически во вращение по сигналу от датчика *3* по заданному

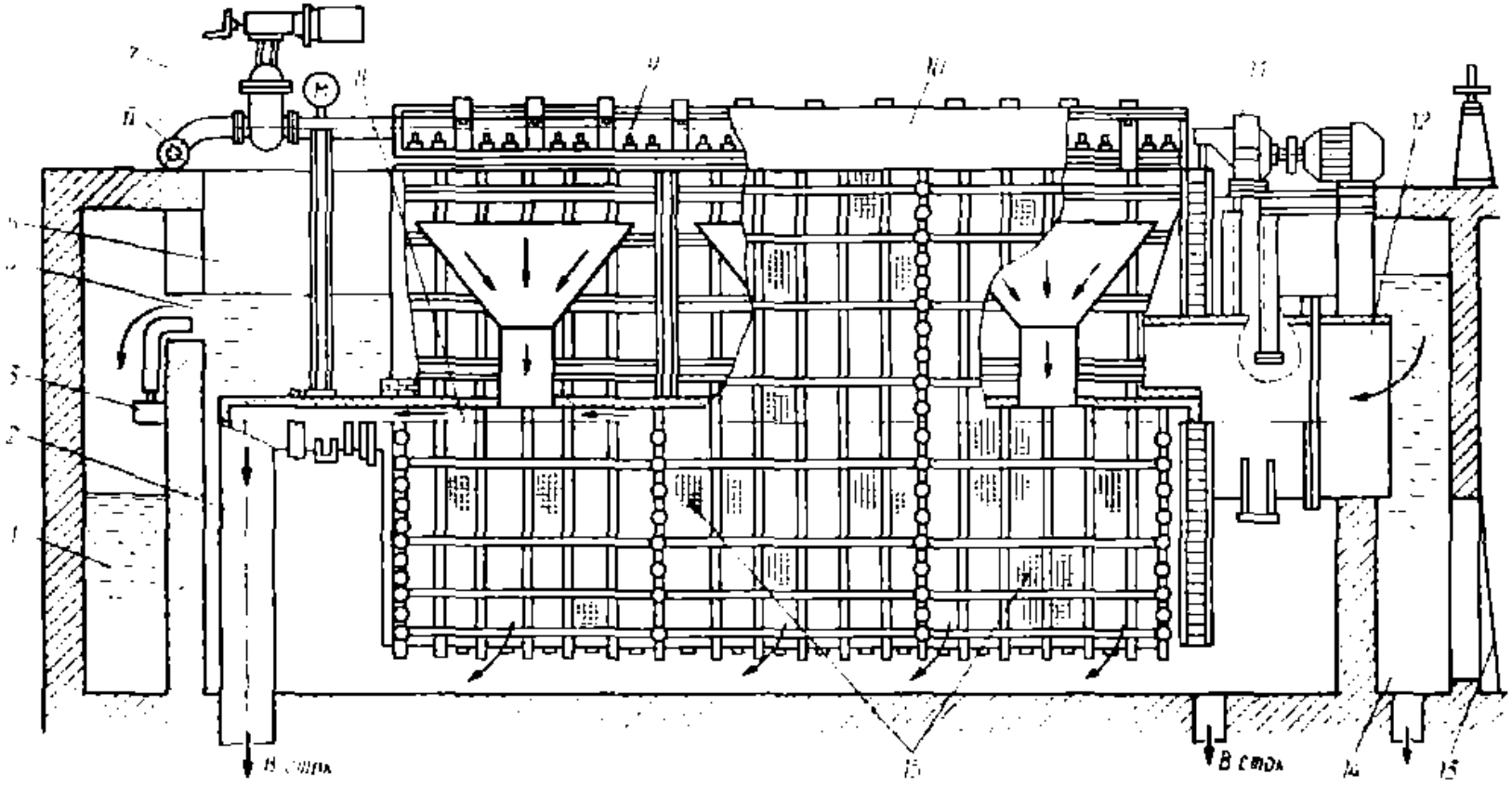


Рис. 5.12. Микрофильтр (барабанная сетка):

1 — сборный канал; *2* — трубопровод отвода промывной воды; *3* — датчик уровня; *4* — водосливное окно; *5* — камера; *6* — трубопровод подачи промывной воды; *7* — задвижка с электроприводом; *8* — центральная труба с коробами сбора промывной воды; *9* — пластинчатые разбрызгиватели; *10* — ограждение из оргстекла; *11* — редуктор с электроприводом; *12* — вводное отверстие большого размера; *13* — отвбег; *14* — подводящий канал исходной воды; *15* — барабаны с фильтрующими элементами

значению ΔH. В то же время включается промывная система. После смыва слоя загрязнение уменьшится до определенного значения, при котором вращение барабана прекратится и промывка выключается. Скорость фильтрования и эффект очистки микрофильтра зависят от свойств исходной воды, плотности сетки, частоты вращения барабана, интенсивности промывки. Как правило, скорость фильтро-

Таблица 5.4. Техническая характеристика микрофильтров

Показатели	Габаритные размеры барабана $D \times L$, м					
	1,5×1,9	1,5×2,8	1,5×3,7	3×2,8	3×3,7	3×4,6
Расчетная средняя производительность, $м^3/ч$:						
микрофильтры	350	500	650	1200	1600	2000
барабанные сетки	700	1100	1500	2500	3300	4200
Фактическая площадь фильтрации, $м^2$	3,75	5,6	7,5	13	17,5	32
Средняя частота вращения барабана, мин	2,6	2,6	2,6	1,7	1,7	1,7
Размеры установки, мм:						
длина	3620	4525	5450	4545	5460	6375
ширина	1850	1850	1850	3156	3156	3156
высота	2750	2750	2750	4240	4240	4240
Мощность электропривода, кВт	2,2	2,2	2,2	3,0	3,0	3,0
Масса, т	2,3	2,6	2,8	4,7	5,0	5,6

вания микрофильтра составляет 40 ... 100 м/ч, эффект очистки по взвешенным веществам 20 ... 40% (считая эффект очистки по клеткам водорослей можно получить результат до 95%). Линейная скорость вращения барабана находится в пределах 0,1 ... 0,4 м/с; для промывки можно использовать микрофильтрованную воду, расход промывной воды 0,5 ... 2% от полезной производительности микрофильтра.

В табл. 5.4 приведены данные по серийно выпускаемым в нашей стране микрофильтрам и барабанным сеткам.

Для микрофильтров характерны компактность, высокая производительность, простота управления. Недостатками являются малый эффект очистки и особенно снижение пропускной способности при эксплуатации в результате постепенного зарастания нитей микросетки несмываемой биологической пленкой. Периодическое хлорирование промывной воды и установка рядом с промывной

системой бактерицидных ламп позволяют значительно уменьшить данный отрицательный эффект.

5.4. Гидроциклоны

Придавая объему воды вращательное движение, на примеси воды будут действовать центробежные силы, величина которых в тысячи раз может превысить силу тяжести. Следовательно, в поле центробежных сил частицы будут передвигаться со скоростью, значительно большей, чем скорость осаждения этих частиц в отстойниках. Данный принцип лежит в основе использования гидроциклонов, которые

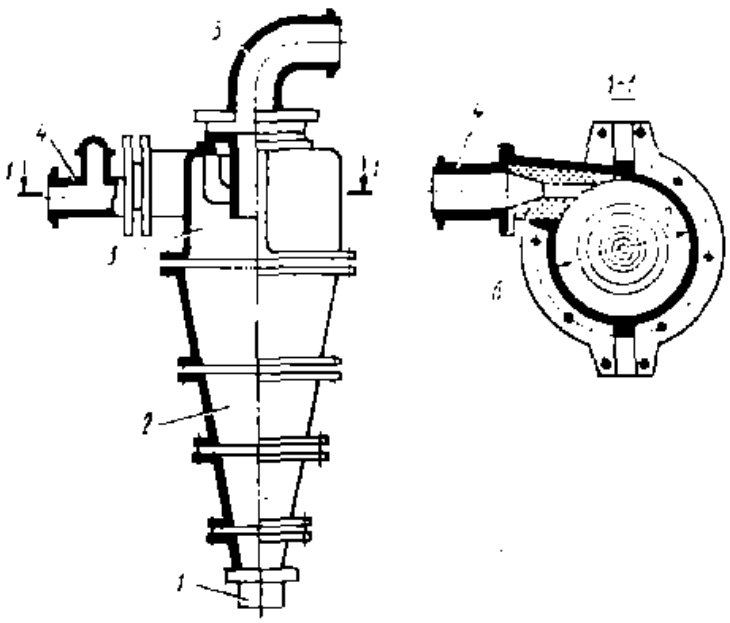


Рис. 5.13. Напорный гидроциклон:
1 — сменная насадка для выпуска осадка; 2 — конус; 3 — корпус; 4 — питающий патрубок; 5 — отводящий патрубок; 6 — сменный вкладыш питающего отверстия

применяют в водоподготовке для удаления из воды грубодисперсных минеральных примесей перед основными очистными сооружениями при очистке высокомутных вод. Гидроциклоны находят применение для осветления реагентных растворов, а также в промышленном водоснабжении.

Промышленность серийно выпускает напорные гидроциклоны (рис. 5.13). Поскольку при эксплуатации гидроциклонов серьезной проблемой является абразивное воздействие минеральных примесей на внутреннюю поверхность сооружения, напорные гидроциклоны выпускают трех модификаций — литые нефутерованные, футерованные каменным литьем (*К*) или шлакоситаллом (*Р*).

Марки серийно выпускаемых напорных гидроциклонов следующие: ГЦ-7,5; ГЦ-15; ГЦ-15К; ГЦ-15Р; ГЦ-25; ГЦ-25К; ГЦ-25Р; ГЦ-36; ГЦ-36К; ГЦ-36Р; ГЦ-50; ГЦ-50К, где цифра обозначает диаметр гидроциклонов в см.

Исходная, не обработанная реагентами вода по касательной направляется в верхнюю цилиндрическую часть гидроциклона. Центробежную силу, под действием которой минеральные примеси отбрасываются к наружной стенке цилиндра, можно определить по формуле

$$F = ma = m\frac{v^2}{R} = \frac{\pi d^3 v^2(\rho - \rho_0)}{6R}, \qquad (5.12)$$

где m — масса частицы; a — ускорение центробежной силы; v — скорость движения частиц на входе в гидроциклон; R — радиус гидроциклона; d — эквивалентный диаметр частиц; ρ и ρ_0 — плотность соответственно частиц и воды.

Примеси сползают вниз по конической части гидроциклона и сбрасываются через насадок *1*, осветленная вода отводится через патрубок *5*.

Расход гидроциклона, $м^3/ч$, можно определить по формуле

$$q = 3600\alpha\mu A(2g\Delta H)^{0,5}, \qquad (5.13)$$

где $\alpha = 0,85 \ldots 0,9$ — коэффициент, учитывающий потери воды; $\mu = 0,24d_1/d_1$ — коэффициент расхода гидроциклона; A — площадь живого сечения питающего отверстия, $м^2$; ΔH — потеря напора гидроциклона, м; d_1 и d_1 — диаметры соответственно входного и отводящего патрубков.

Обычно давление воды на входе в гидроциклон составляет 0,05 ... 0,3 МПа, что обеспечивает скорость тангенциального движения 4 ... 15 м/с. Например, гидроциклон диаметром 100 мм при давлении 0,25 МПа обеспечивает производительность 320 $м^3$/сут и выделяет из воды частицы с гидравлической крупностью свыше 0,17 мм/с. Потеря напора при этом 0,05 ... 0,8 МПа.

В соответствии с формулой (5.12) центробежная сила, действующая на частицу, пропорциональна скорости ее движения на входе, обратно пропорциональна скорости ее движения на выходе и обратно пропорциональна диаметру гидроциклона. Входная скорость тем больше, чем больше давление воды, определяемое применяемыми насосами. Следовательно, если при постоянном давлении уменьшить диаметр гидроциклона, то можно уменьшить и минимальную гидравлическую крупность извлекаемых частиц, т. е. повысить эффект осветления. Поскольку с уменьшением диаметра снижается расход гидроциклона, то для сохранения требуемой производительности установки при одновременном повышении эффекта осветления

в практике водоподготовки используют мультициклоны (рис. 5.14). В мультициклонах параллельно включено большое количество гидроциклонов малого диаметра (10 ... 20 мм), изготовляемых, как правило, из пластмассы. Например, мультициклон, состоящий из 320 гидроциклонов диаметром 15 мм, обеспечивает при потере напора 0,1 МПа производительность 500 м^3/сут и извлекает из воды минеральные частицы с гидравлической крупностью свыше 0,1 мм/с.

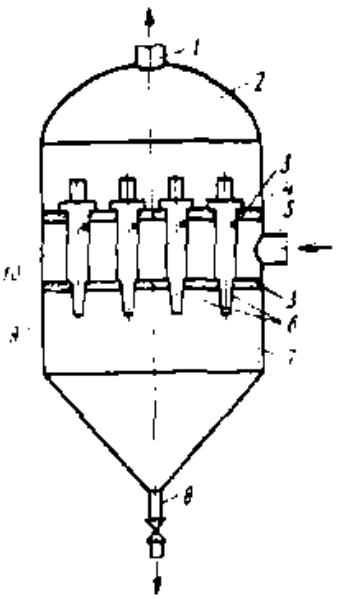


Рис. 5.14. Мультициклон:
1 — отводящий патрубок; *2* — камера сбора осветленной воды; *3* — верхняя распределительная плита; *4* — корпус; *5* — подводящий патрубок; *6* — гидроциклоны; *7* — камера накопления осадка; *8* — сбор осадка; *9* — камера сбора исходной воды; *10* — входное отверстие $d = 2$ мм

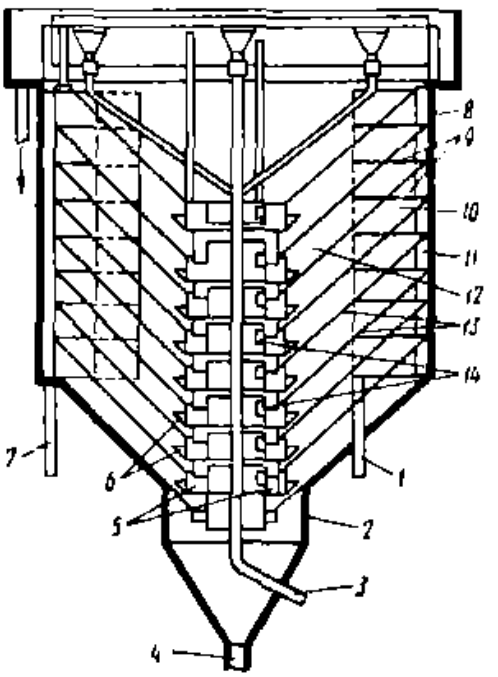


Рис. 5.15. Многоярусный открытый гидроциклон:
1 — подающие трубы; *2* — конус; *3* — корпус; *4* — выпуск шлама; *5* — шламосборные трубы; *6* — шламоотборные козырьки; *7* — распределительные лопатки; *8* — камера; *9* — щели для впуска очищенной воды; *10* — брусья; *11* — коническая диафрагма; *12* — отверстие для выпуска осветленной воды; *13* — подающие трубы; *14* — планетоноотводящая труба

Открытые гидроциклоны (рис. 5.15) более производительны, чем напорные, но их эффект осветления меньше.

Достоинства гидроциклонов — компактность, простота устройства, отсутствие движущихся частей, высокая производительность с единицы объема установки, простота обслуживания, быстрота пуска и выключения, возможность автоматизации управления и включения в действующую технологическую схему без затраты дополнительной площади. Недостатки — быстрый износ, малый эффект очистки, большое колебание степени осветления воды.

5.5. Флотация

Для очистки вод от легких грубодисперсных частиц — планктона и прочих примесей в основном органического происхождения — используется флотация. Метод заключается в адсорбировании примесей мелкими пузырьками воздуха и в поднятии их на поверхность бассейна, где образуется слой пены. Флотационные установки (флотаторы) используют вместо отстойников или осветлителей со взвешенным осадком, они могут также заменить микрофильтры. Применение флотации позволяет увеличить удельную производительность с площади зеркала воды по сравнению с отстойниками и осветлителями в 2 ... 5 раз, повысить эффект осветления воды.

Эффективность процесса зависит от свойств воды и примесей, крупности пузырьков воздуха и равномерности их распределения по площади флотационной камеры. Оптимальный размер пузырьков 20 ... 80 мкм. Чем меньше поверхностное натяжение жидкости, тем лучше растворится там воздух и тем мельче образующиеся пузырьки. Для хорошего адсорбирования к пузырькам примеси должны быть гидрофобными, их оптимальный размер 0,1 ... 1 мм. Для снижения поверхностного натяжения воды, гидрофобизации примесей и увеличения их размера воду перед флотационной камерой коагулируют. Флотационные установки должны включать смесители и камеры хлопьеобразования.

По способу образования пузырьков воздуха различают механическую и пневматическую флотацию. В первом случае диспергирование пузырьков в воду производится специальными турбинами. При очистке поверхностных вод более распространена пневматическая флотация, которая основывается на уменьшении растворимости газа в воде при снижении его парциального давления.

При резком снижении давления происходит выделение из воды излишнего количества воздуха в виде пузырьков. Если вода из-под нормального давления направляется в камеру под вакуумом, такая флотация называется вакуумной; если из-под напора в открытую камеру — напорной. Напорная флотация (рис. 5.16) наиболее широко используется в водоподготовке. На практике, прежде всего при очистке сточных вод, применяется также электрофлотация, где пузырьки газа образуются в процессе электролиза.

Флотационные камеры могут быть в плане круглые или прямоугольные, с радиальным или горизонтальным движением воды. Длина камеры принимается в пределах 3 ... 9 м, ширина — до 6 м, отношение ширины к длине — $^2/_3$ ... $^1/_3$, глубина слоя воды — 2 ... 3 м, время пребывания — 15 ... 30 мин, нагрузка по площади зеркала воды в камере — 4 ... 10 $м^3/(ч \cdot м^2)$.

Для изготовления водовоздушной эмульсии выделяется 10 ... 15 % воды, которая направляется в напорный бак. Необходимое

давление в баке 0,6 ... 0,8 МПа, время пребывания воды примерно 2 мин. Для равномерного распределения пузырьков воздуха по всей ширине камеры от каждого насадка на мостик обслуживания выводится регулировочный винт. Менее эффективным является распределение водовоздушной эмульсии перфорированным трубопро-

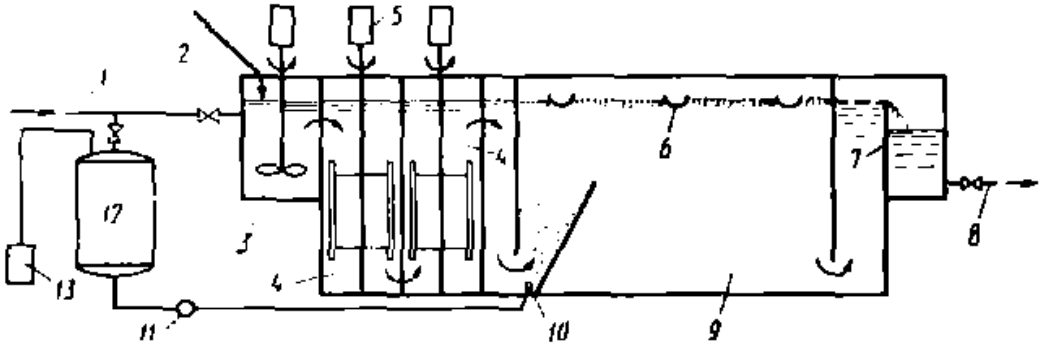


Рис. 5.16. Схема установки напорной флотации:
1 — подача исходной воды; *2* — подача реагентов; *3* — смеситель; *4* — флокуляторы; *5* — электроприводы; *6* — желоба для сбора пены; *7* — водослив; *8* — отвод осветленной воды; *9* — камера флотации; *10* — насадки распределения водовоздушной эмульсии; *11* — редуктор; *12* — напорный бак; *13* — компрессор

водом. Скорость выхода эмульсии из отверстий рекомендуется поддерживать в пределах 20 ... 25 м/с, диаметр отверстий 5 ... 8 мм. Отверстия располагают равномерно по нижней образующей трубы.

Во входной части камеры под углом 60 ... 70° к горизонтали устанавливается струенаправляющая перегородка. Скорость движения воды над перегородкой принимается 0,016 ... 0,02 м/с, что обеспечивает равномерное течение потока от камеры хлопьеобразования в камеру флотации.

Отвод осветленной воды производится с нижней части камеры с использованием подвесной направляющей стенки или системы из перфорированных труб. Скорость движения воды под подвесной стенкой принимается 0,9 ... 1,2 м/с.

На рис. 5.17 приведен разрез водоочистной станции с использованием флотации и фильтровании. Удаление пены производится либо гидравлическим способом (закрытием на короткое время задвижки на отводящем трубопроводе, в результате чего уровень воды в камере поднимается и пена вместе с 1 ... 1,5% воды отводится в канализацию), либо механически с использованием скребковых механизмов. Применяются и комбинированные способы. Скорость движения скребков в прямоугольных камерах принимается до 0,2 м/с, в круглых — 0,015 ... 0,02 м/с. Днища желобов выполняют с уклоном 0,025 в сторону отвода пены. Кромки желобов располагают в одной горизонтальной плоскости на 10 ... 15 см выше уровня воды в камере.

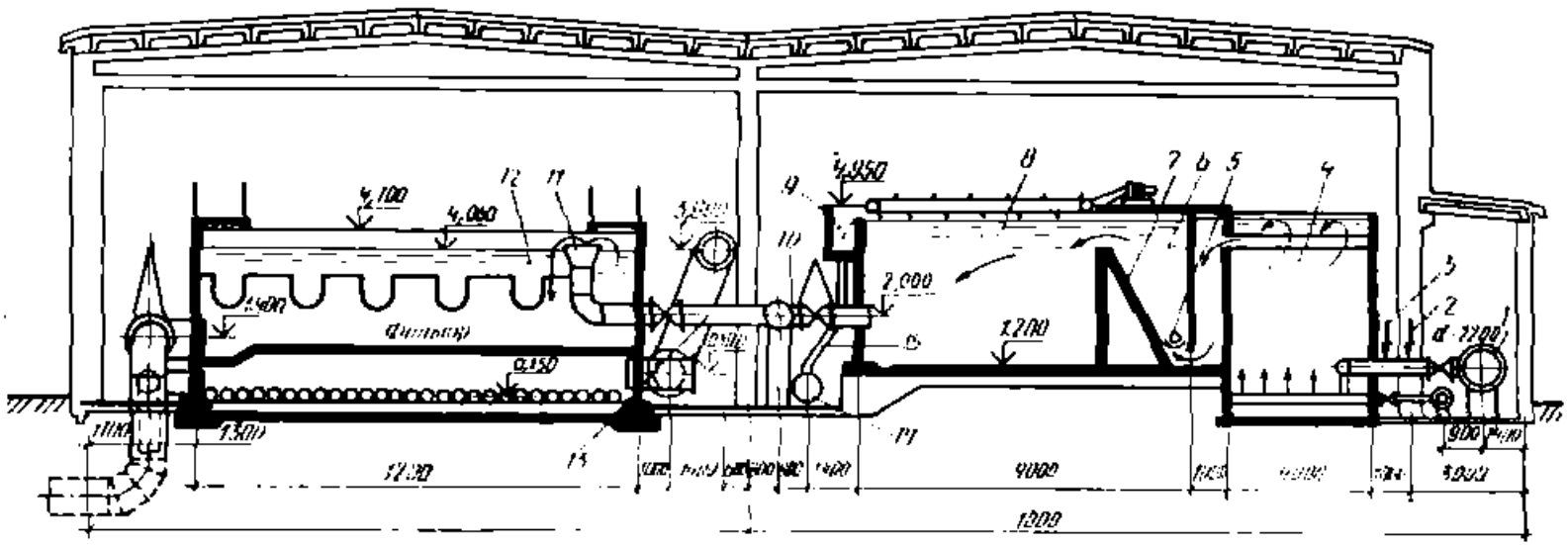


Рис. 5.17. Технологическая схема водоочистной станции с флотаторами и скорыми фильтрами:

1 — подача исходной воды; *2, 3* — ввод реагентов; *4* — камера хлопьеобразования; *5* — распределительная система; *6* — зона смешения; *7* — направляющая перегородка; *8* — флотационная камера; *9* — желоб для сбора пены; *10* — отвод осветленной воды на фильтры; *11* — распределение воды на фильтр; *12* — скорый фильтр; *13* — подача промывной воды; *14* — сток; *15* — сброс пены

ГЛАВА 6

ФИЛЬТРОВАНИЕ ВОДЫ

6.1. Классификация фильтров

Фильтрованием называют процесс пропуска воды через фильтрующий материал (фильтровальную перегородку), задерживающий нерастворенные примеси. Соответствующие сооружения называются фильтрами. В зависимости от применяемого фильтрующего материала можно фильтры разделить на две группы — *тонкостенные фильтры*, в которых используются пленки, ткани, пористые плиты, плотные *сетки, тонкие слои порошка*, и *зернистые фильтры*, где фильтровальную перегородку образует слой кварцевого песка или другого зернистого материала. Существует два вида фильтрования — *пленочное* и *объемное*. В *первом примеси задерживаются на* поверхности фильтрующего материала. Это характерно для тонкостенных фильтров, а также медленных зернистых фильтров. При объемном фильтровании примеси задерживаются внутри фильтрующего слоя в порах материала, по этому принципу работают остальные зернистые фильтры — скоростные и сверхскоростные. При определенных условиях в зернистых фильтрах имеет место комбинированное фильтрование, когда часть примесей задерживается на поверхности, часть — в порах.

Зернистые фильтры широко применяют для подготовки технических и оборотных вод, они незаменимы на водоочистных станциях хозяйственно-питьевого назначения для осветления и обесцвечивания поверхностных вод, а также для обезжелезивания подземных вод.

Зернистые фильтры можно классифицировать по нескольким признакам:

1) по напору над фильтрующим материалом — на открытые (гравитационные) фильтры, где фильтрование воды происходит под атмосферным давлением, и напорные фильтры, в которых над зернистым слоем создается избыточное давление;

2) по производительности с *единицы площади* фильтра, т. е. по скорости фильтрования — на медленные ($v = 0{,}1 \ldots 0{,}2$ м/ч), скорые ($v = 4 \ldots 15$ м/ч) и сверхскоростные (свыше 25 м/ч) фильтры.

Медленные фильтры всегда открытые, скорые могут быть открытые или напорные, сверхскоростные — только напорные фильтры;

3) по крупности зерен фильтрующего материала в верхних слоях фильтра — на мелкозернистые (до 0,4 мм), среднезернистые (0,4 ... 0,8 мм) и грубозернистые (свыше 0,8 мм) фильтры. Мелкозернистую загрузку используют в медленных фильтрах, среднезернистую — в скорых и сверхскоростных фильтрах. Грубозернистые

фильтры применяют для частичной очистки воды в технических целях;

4) по количеству слоев разных зернистых материалов — на одно-, двух-, трех- и многослойные фильтры;

5) по направлению движения фильтрующего потока — на фильтры с нисходящим или восходящим фильтрованием, а также на двухпоточные фильтры (фильтры АКХ), в которых вода, профильтрованная одновременно снизу вверх и сверху вниз, отводится дренажной системой, установленной в толще фильтрующего слоя.

На практике применяют также и такие конструкции зернистых фильтров, в которых фильтрование происходит в горизонтальном направлении (радиальные фильтры).

6.2. Устройство и процесс работы скорого фильтра

На водоочистных станциях наиболее часто применяют одно- и двухслойные открытые скорые фильтры, которые представляют собой прямоугольный в плане железобетонный резервуар со слоем зернистого фильтрующего материала. Фильтр оборудован сборно-распределительной системой подачи и отвода исходной, промывной и профильтрованной воды, а также контрольно-регулировочной арматурой и приборами для управления работой фильтра. Под фильтрующим слоем обычно устанавливается поддерживающий слой из гравия, цель которого — предотвратить вынос фильтрующего материала из фильтра вместе с профильтрованной водой и обеспечить равномерное распределение промывной воды по площади фильтра.

На рис. 6.1 приведена схема скорого фильтра в рабочем положении.

При объемном фильтровании интенсивность адсорбирования примесей и, следовательно, эффект осветления воды увеличиваются при устранении агрегативной устойчивости взвесей в результате коагулирования.

При обычной двухступенчатой схеме очистки коагулянт добавляется в воду перед сооружениями предварительной очистки, т. е. перед отстойниками или осветлителями со взвешенным осадком. В скорых фильтрах происходит адсорбция мелких хлопьев и взвесей, не задержанных в предыдущих сооружениях, и тем самым окончательное осветление и обесцвечивание воды. Для большей эффективности фильтрования иногда целесообразна дополнительная подача флокулянта перед фильтрами.

Коагулированная вода распределяется желобами 2 равномерно по всей площади фильтра. При этом желоба установлены параллельно короткой стороне бассейна. Профильтрованная вода

собирается дренажной системой, состоящей из коллектора *6* и ответвления *15*.

Гидравлическое сопротивление фильтрующего слоя характеризуется потерей напора фильтра ΔH, величину которой можно оценить разницей уровней воды над фильтром и присоединенной к коллектору пьезометрической трубке. Поскольку гидравлическое сопротивление фильтрующего слоя в процессе работы постоянно растет, то фильтры могут работать в двух режимах — с постоянной скоростью фильтро-

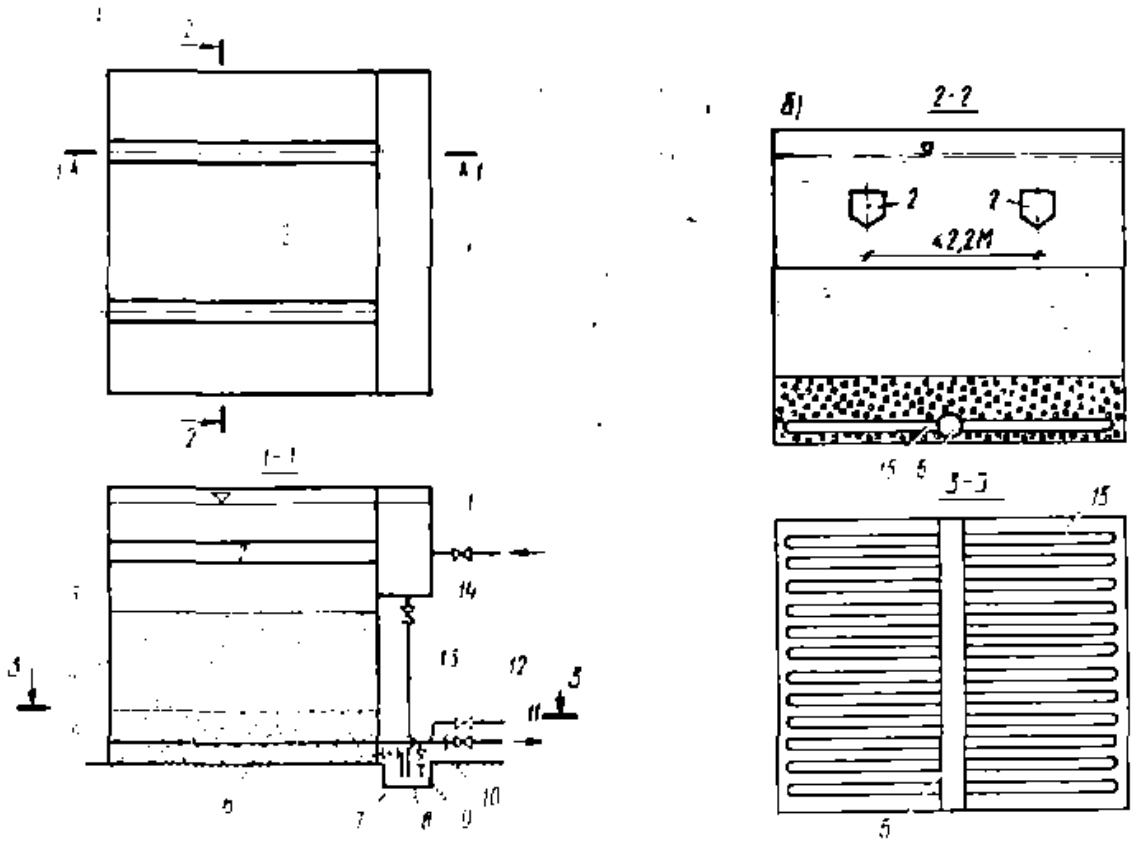


Рис. 6.1. Схема скорого однослойного фильтра в рабочем положении:
а — план и разрезы фильтра; *б* — план дренажной системы; *1* — распределительный канал исходной воды (сборный канал промывной воды; *2* — желоба; *3* — бассейн фильтра; *4* — фильтрующий слой; *5* — поддерживающий слой; *6* — дренажный коллектор (распределительный коллектор промывной воды); *7* — труба для опорожнения фильтра; *8* — отводной канал, *9* — отвод первого фильтрата; *10* — диафрагма с дифманометром для регулирования скорости фильтрования; *11* — коллектор отвода фильтрата; *12* — подача промывной воды; *13* — отвод промывной воды; *14* — подача исходной воды; *15* — ответвления дренажной (распределительной) системы

вания при постоянном увеличении ΔH или уменьшающейся скоростью фильтрования при постоянном значении ΔH. Более распространен первый режим эксплуатации. В таком случае необходимо постепенное открытие регулировочной задвижки на коллекторе отвода фильтрата по мере увеличения гидравлического сопротивления фильтрующего слоя, с тем чтобы суммарное сопротивление на пути движения воды оставалось постоянным.

Для этого используются автоматические регуляторы скорости, включающие диафрагму и дифманометр с электрическим выходом, присоединенным через автоматический регулятор к задвижке с электроприводом.

Максимальное значение ΔH предопределяется уровнем воды в резервуаре чистой воды и высотной схемой станции. По строительным нормам предельная потеря напора в открытых скорых фильтрах предусматривается 3 ... 3,5 м, в напорных фильтрах — 6 ... 8 м. При достижении указанных величин ΔH фильтры необходимо промывать в восходящем потоке воды или смеси воды и воздуха. Промежуток времени между двумя промывками называется продолжительностью фильроцикла T. Для предотвращения попадания части фильтрующего слоя под вакуум в результате интенсивного роста гидравлического сопротивления верхних слоев над фильтрующим материалом необходимо иметь слой воды толщиной не менее 2 м. На рис. 6.2 представлен фильтр с центральным каналом, который применяется при большой площади фильтра.

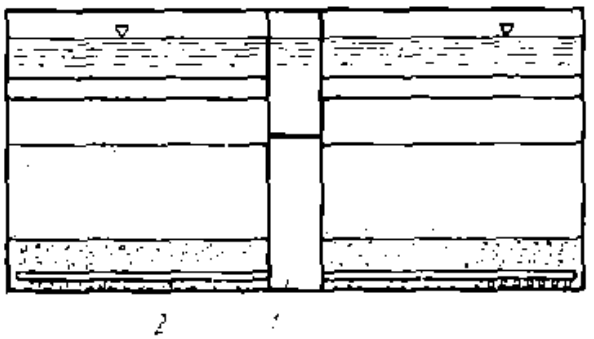


Рис. 6.2. Схема скорого фильтра с центральным каналом:

1 — центральный канал, разделенный герметичной перегородкой на верхний и нижний карманы; *2* — отстаивания

6.3. Фильтрующие материалы зернистых фильтров

Зернистые материалы, применяемые для загрузки водоочистных фильтров, должны иметь необходимую гранулометрическую структуру, быть механически прочными и химически стойкими. Материал должен иметь большую открытую пористость и удельную поверхность зерен, поскольку от этих показателей зависят грязеемкость фильтра (масса взвешенных веществ, задержанных за один фильтроцикл с единицы площади фильтра) и продолжительность фильтроцикла. Удельная поверхность зерен представляет собой отношение суммарной поверхности зерен к объему материала, обычно она оценивается коэффициентом формы α_ϕ (отношение поверхности зерна к поверхности равновеликого по объему шара). α_ϕ определяется фильтрационным путем, величина α_ϕ всегда больше единицы. По форме зерна должны быть близки к кубу.

Важным является плотность материала. От этого зависят необходимая интенсивность промывки и максимально допустимая

скорость фильтрования при восходящем движении воды (в контактных осветлителях).

Наиболее распространенный фильтрующий материал — кварцевый песок. Кроме песка используются материалы, которые получают дроблением пористых гранул заводского изготовления — дробленый керамзит и шунгизит. Ввиду их большей пористости и удельной поверхности грязеемкость фильтров с такой загрузкой больше, они обеспечат большую по сравнению с кварцевым песком продолжительность фильтроцикла.

Находят применение местные фильтрующие материалы горелые породы, вулканические шлаки, отходы металлургического производства и др. В фильтрах с плавающей загрузкой наряду с другими используется синтетический материал — пенополистирол. Эффективными, но дорогими материалами являются дробленый антрацит и различные марки активных углей заводского изготовления (АГ-3, БАУ, ДАУ), которые целесообразно применять в сорбционных фильтрах. При высокопористых материалах (керамзит, антрацит, активные угли) необходимо учитывать наличие в зернах закрытых пор, поэтому перед включением фильтра в работу требуется смачивание загрузки.

Свойства некоторых фильтрующих материалов приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1. **Показатели фильтрующих материалов**

Материал	Плотность г/см^3	Насыпная плотность г/см^3	Пористость %	
			открытая	закрытая
Кварцевый песок	2,65	1,7	36...42	0
АГ-3 (крупность зерен 1,4...2,0 мм)	2,0	0,5	68	5
Керамзит марки 500	2,3...2,55	0,6...0,8	60...70	2...12
Шлаки никелевого производства	3,3	1,8	45	0

Гранулометрические свойства фильтрующих материалов определяются ситовым анализом с использованием комплекта калиброванных сит. Калибр определяется экспериментально. Через сито просеивается определенное количество зернистого материала. После этого под сито помещается белый лист бумаги, сито встряхивают. Выпавшие на бумагу зерна пересчитываются, определяется общая масса зерен. Калибр сита, мм,

$$d = 10\left(\frac{6M}{n\pi\rho}\right)^{0,5}, \qquad (6.1)$$

где M — суммарная масса зерен, г; n — количество зерен; ρ — плотность материала, г/см^3.

Для ситового анализа берется примерно 1000 см^3 предварительно промытого и высушенного материала и просеивается через комплект сит. Обычно для этого используется лабораторный агрегат, оборудованный электроприводом. Оставшиеся на ситах разного калибра зернистые материалы взвешиваются и строится график ситового анализа (рис. 6.3). По графику определяют d_{10} и d_{80} (калибр сит, через которые прошло соответственно 10 и 80% материала). Затем рассчитывают коэффициент неоднородности

$$K = d_{80}/d_{10} \qquad (6.2)$$

и эквивалентный диаметр, мм,

$$d_{экв} = \frac{100}{\sum \frac{P_i}{d_i}}, \qquad (6.3)$$

где P_i — процентное содержание фракции со средним диаметром d_i. При этом d_i определяется как средний калибр двух смежных сит. d_{10}, d_{80}, K $d_{экв}$ являются гранулометрическими показателями зернистого материала. По нормам в скорых фильтрах используются фракции с крупностью зерен 0,5 ... 2 мм, причем $K = 1,5 \ldots 2$, $d_{экв} = 0,7 \ldots 1,2$ мм, толщина слоя фильтрующего материала — 0,7 ... 2 м.

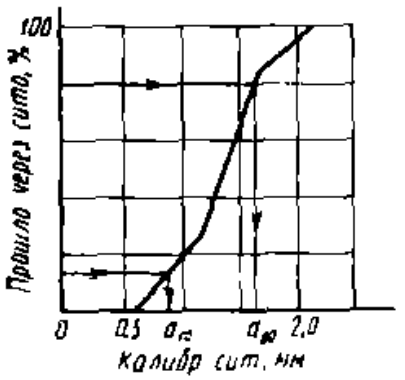


Рис. 6.3. График ситового анализа

Механическая прочность материала оценивается измельчаемостью и истираемостью. Для их определения берут примерно 100 г промытого и отсеянного материала крупностью более 0,5 мм. Материал засыпают в банку, заливают 150 мл воды. Банку на 24 ч устанавливают в шютель-машину, которая выполняет 60 встряхиваний в 1 мин. Затем материал высушивают и просеивают через сита калибром 0,5 и 0,25 мм. Измельчаемостью называют процентное содержание материала по массе, оставшееся на сите 0,25 мм, истираемостью — количество материала, прошедшего через данное сито. Измельчаемость фильтрующего материала не должна превышать 4%, истираемость —0,5%.

Химическая стойкость материала означает, что он не должен растворяться в кислой, щелочной и в нейтральной средах.

В три колбы засыпают по 10 г чистого и сухого материала, заливают 500 мл дистиллированной воды. В первую колбу добавляется 100 мл H_2SO_4, во вторую — 100 мл NaOH и в третью — 250 г NaCl. Колбы оставляют на 24 ч в покое, периодически их взбалтывая. Затем вода отфильтровывается, в фильтрате определяются сухой остаток, окисляемость и содержание кремниевой кислоты. Химически

стойким считается материал, при котором прирост сухого остатка не превышает 20 мг/л, окисляемость и концентрация кремниевой кислоты — 10 мг/л.

Поддерживающие слои состоят обычно из гравия четырех фракций, устанавливаемых снизу вверх по убывающей крупности в соответствии с рекомендациями, приведенными в табл. 6.2.

Таблица 6.2. **Крупность и толщина поддерживающих слоев**

Крупность фракции, гравия, мм	Толщина слоя фракции, мм
40...20	Верхняя граница слоя должна быть на уровне верха распределительной трубы, но не менее чем на 100 мм *выше отверстий*
20...10	100...150
10...5	100...150
5...2	50...100

Примечания: 1. При малой крупности зерен фильтрующего материала добавляется дополнительная фракция поддерживающего слоя 2 ... 1,2 мм толщиной 100 мм. 2. При использовании водовоздушной промывки толщину фракций 10 ... 5 мм и 5 ... 2 мм увеличивают до 150 ... 200 мм. 3. Дно ответвления трубчатой дренажной системы устанавливается 80 ... 120 мм выше дна фильтра.

6.4. *Дренажные системы и промывка скорых фильтров*

Для сбора профильтрованной и распределения промывной воды на дно фильтра устанавливают дренажную (распределительную) систему. Назначение этой системы — вместе с поддерживающими гравийными слоями предотвратить вынос фильтрующего материала и обеспечить равномерное по всей площади распределение промывной воды. При восходящем фильтровании через распределительную систему подается как исходная, так и промывная вода.

В настоящее время используются перфорированные дренажные системы большого сопротивления и пористые системы. В первом случае равномерность распределения промывной воды по площади фильтра обеспечивается относительно большой (3 ... 7 м) потерей напора в перфорации.

Наиболее широко применяется трубчатая дренажная система большого сопротивления (см. рис. 6.1, б), состоящая из коллектора и ответвлений в виде перфорированных труб. При большой площади фильтра ответвления присоединены непосредственно к нижнему карману центрального канала (см. рис. 6.2). Перфорированные трубы

устанавливаются в поддерживающие слои в соответствии с рекомендациями табл. 6.2.

При нормальной промывке поддерживающие слои остаются неподвижными, в то время как фильтрующий слой переводится во взвешенное состояние и расширяется до 50%. Однако в определенных условиях в результате промывок может происходить горизонтальное смещение поддерживающих слоев с образованием неровной поверхности фильтрующего материала. Поэтому используются также

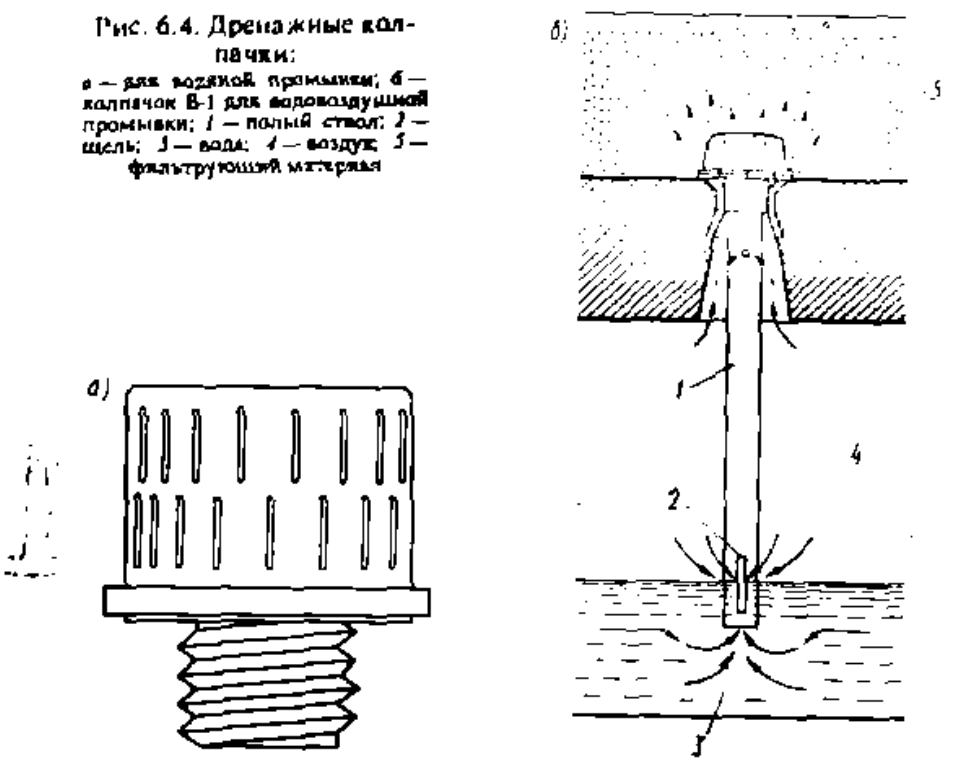


Рис. 6.4. Дренажные колпачки:
а — для водяной промывки; *б* — колпачок В-1 для водовоздушной промывки; *1* — полый ствол; *2* — щель; *3* — вода; *4* — воздух; *5* — фильтрующий материал

безгравийные дренажные системы,которые подразделяются на щелевые и пористые.

Щелевые системы состоят либо из труб, где в ответвлениях вместо крупных отверстий имеются щели, либо из щелевых дренажных колпачков (рис. 6.4). Ширину щелей принимают на 0,1 мм меньше минимальной крупности зерен, т. е., как правило, 0,4 мм. Чаще применяется колпачковый дренаж, причем колпачки выполняются из нержавеющей стали, пластмассы (ВТИ-К) или фарфора (ВТИ) и крепятся на резьбе к трубам ответвлений или к двойному дну подфильтрового пространства.

Пористые системы (рис. 6.5) представляют собой плиты из полимербетона, которыми перекрываются каналы на дне фильтра.

Пористый полимербетон изготовляется из гравия или гранитного щебня крупностью 3 ... 10 мм и эпоксидной смолы ЭД-20 или ЭД-16 по ГОСТ 10587—76 с отвердителем полиэтиленполиамином по ТУ 6-02-594—80. Соотношение по массе между смолой и отвердителем 10:1, между заполнителем и связующим 15:1 ...25:1. При этом количество связующего подобрано так, что в полимербетоне остаются открытые сквозные поры. Полимербетонную смесь приготовляют перемешиванием в мешалке в течение 3 ... 5 мин и заливают в разъемные формы.

Дренаж фильтра может быть выполнен и в виде монолитного полимербетонного перекрытия.

Для уменьшения расхода промывной воды, сокращения размера соответствующих резервуаров и коммуникаций применяют водовоздушную промывку. Для этого используют либо раздельные распределительные трубы, устанавливаемые на дно фильтра попеременно,

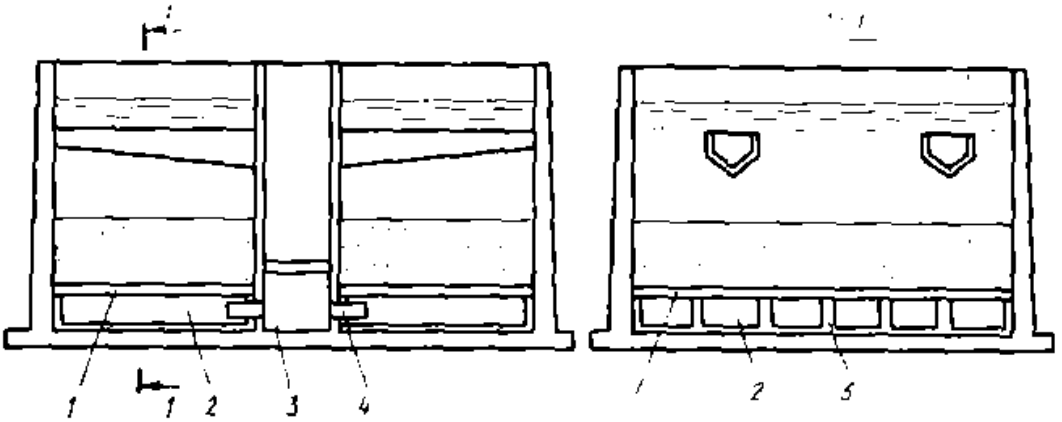


Рис. 6.5. Дренажная система из пористого полимербетона:
1 — полимербетонная плита толщиной 40 ... 50 мм; 2 — дренажный канал; 3 — сборный канал; 4 — опорные стенки: высота 250...350 мм, шаг по осям 250...350 мм, толщина 80 ... 120 мм; 5 — патрубки d = 70 ... 150 мм

либо специальные дренажные колпачки (рис. 6.4, *б*). В первом случае необходимы поддерживающие слои, второй вариант — безгравийный.

Водовоздушную промывку целесообразно использовать при кварцевом песке и более плотных фильтрующих материалах. При этом требуется горизонтальный отвод промывной воды с поверхности загрузки с пескоулавливающим желобом и струенаправляющим выступом (рис. 6.6, *б*). При водовоздушной промывке фильтрующий слой не расширяется, что позволяет сохранить его первоначальную гранулометрическую структуру.

При фильтровании воды с высокой концентрацией взвешенных веществ, а также с содержанием железа, карбоната кальция и в

других случаях, когда на поверхности фильтра образуется трудносмываемая пленка, дополнительно к промывке в восходящем потоке используется верхняя промывка.

Над фильтрующим слоем устанавливают стационарную систему перфорированных труб или вращающуюся трубу с насадками, через которые под напором выходят струи воды. После разрыхления поверхности слоя происходит промывка фильтра в восходящем потоке воды.

При стационарной системе трубы устанавливают на 60 ...80 мм выше поверхности фильтрующего слоя, расстояние между трубами 700 ... 1000 мм, между отверстиями в трубе 80 ... 100 мм. Отверстия направлены вниз под углом 30° к горизонтали, необходимый напор в трубопроводе 30 ... 40 м, интенсивность верхней промывки 3 ... 4 $л/с \cdot м^2$.

Вращающаяся труба используется при круглых или квадратных (площадью до 25 $м^2$) в плане фильтрах. Насадки прикрепляют к трубе под углом 25° к горизонтали с таким расчетом, чтобы труба вращалась под действием реактивных сил струи воды. Необходимый напор при этом 40 ... 45 м, интенсивность промывки 0,5 ... 0,75 $л/с \cdot м^2$.

Таблица 6.3. **Параметры промывки скорых фильтров с песчаной загрузкой**

Характеристика загрузки фильтра	Интенсивность промывки w, $л/с \cdot м^2$	Продолжительность промывки $t_{пр}$, мин	Относительное расширение фильтрующего слоя, %
Однослойная с крупностью, мм:			
0,7...0,8	12...14	6...5	45
0,8...1,0	14...16	6...5	30
1,0...1,2	16...18	6...5	25
Двухслойная	14...16	7...6	50

Примечание: Бо́льшим значениям интенсивности соответствует меньшая продолжительность.

Для промывки фильтра используют профильтрованную воду, забираемую специальным промывным насосом из резервуара чистой воды. Вместо этого можно использовать воду из промывного резервуара, отметка установки которого исключает необходимость в применении насоса. Для промывки контактных осветлителей можно использовать нефильтрованную воду.

Технология промывки фильтра следующая (см. рис. 6.1, *а*): перекрывается поступление воды *14* и отвод фильтрата *11*, открывается отвод промывной воды *13* и включается подача промывной воды *12*. Интенсивность и продолжительность промывки при использовании кварцевого песка подбирают по табл. 6.3 и уточняют в процессе эксплуатации фильтра. В случае применения

других материалов загрузки для определении интенсивности промывки необходимо провести технологические изыскания или пользоваться данными соответствующей литературы.

Промывку продолжают до тех пор, пока промывная вода становится прозрачной. Затем закрываются задвижки на трубопроводах *12* и *13*, открывается *14* и уровень воды поднимается до расчетной отметки. После этого через задвижку *9* направляется в канализацию так называемый первый фильтрат. Когда качество фильтрата будет соответствовать требованиям стандарта, закрывается задвижка *9* и открывается задвижка на трубопроводе отвода фильтрата *11*, задав предварительно на регуляторе необходимую скорость фильтрования.

При верхней промывке сначала на 2 ... 3 мин включают верхнюю систему, затем, не выключая верхней, включают нижнюю промывку и доводят ее интенсивность до получения требуемой степени расширения фильтрующего слоя. Общая продолжительность промывки 5 ... 8 мин.

Водовоздушная промывка производится в три этапа: барботирование загрузки сжатым воздухом, одновременная водовоздушная промывка и отмывка загрузки водой.

Для сокращения расхода воды на собственные нужды станции применяется система повторного использования промывных вод фильтров. При двухступенчатой очистке промывные воды направляются в резервуар-усреднитель и перекачиваются оттуда равномерно в голову очистных сооружений. На станции необходимо иметь не менее двух резервуаров, причем объем одного резервуара должен позволять принимать всю воду от промывки одного фильтра.

При одноступенчатой очистке (только фильтры или контактные осветлители) необходимо промывную воду собирать и осветлять в течение 2 ... 4 ч в отстойнике непроточного типа.

При наличии повторного использования промывных вод фильтров на собственные нужды станции расходуется 3 ... 4% воды, подаваемой потребителям, при отсутствии повторного использования — 10 ... 14%. Согласно строительным нормам повторное использование необходимо.

6.5. Расчет скорых фильтров

Общая площадь скорых фильтров, м^2,

$$A_\Phi = \frac{Q}{T v_в - n_{пр} A_{пр} - n_{пр} \tau_{пр} v_в}, \qquad (6.4)$$

где Q — полезная производительность станции, м^3/сут; T — продолжительность работы станции в течение суток, ч; $v_в$ — расчетная

скорость фильтрования при нормальном режиме, м/ч, принимаемая по табл. 6.4; $n_{пр}$ — число промывок одного фильтра в сутки при нормальном режиме работы; $q_{уд} = 0{,}06\omega t_{пр}$ — удельный расход на промывку одного фильтра, $м^3/м^2$; ω — интенсивность промывки, $л/с \cdot м^2$, принимается по табл. 6.3 или на основе технологических исследований; $t_{пр} = 5 \ldots 7$ мин — продолжительность промывки; $\tau_{пр}$ — время простоя фильтра в связи с промывкой. Принимается для водяной промывки 0,33 ч, для водовоздушной — 0,5 ч.

Фильтры работают в нормальном и форсированном режимах.

Таблица 6.4. Скорость фильтрования при нормальном и форсированном режимах

Фильтры	Загрузка	Крупность зерен, мм	$d_{экв}$, мм	Коэффициент неоднородности K	Толщина слоя, м	Скорость фильтрования, м/ч	
						при нормальном режиме	при форсированном режиме
Однослойные	Кварцевый песок	0,5...1,2	0,7...0,8	1,8... 2,0	0,7...0,8	5...6	6...7,5
		0,7...1,6	0,8...1,0	1,6... 1,8	1,3...1,5	6...8	7...9,5
		0,8...2,0	1,0...1,2	1,5... 1,7	1,8...2,0	8...10	10...12
	Дробленый керамзит	0,5...1,2	0,7...0,8	1,8... 2,0	0,7...0,8	6...7	7...9
		0,7...1,6	0,8...1,0	1,6... 1,8	1,3...1,5	7...9,5	8,5...11,5
		0,8...2,0	1,0...1,2	1,5... 1,7	1,8...2,0	9,5...12	12...14
Двухслойные	Кварцевый песок	0,5...1,2	0,7...0,8	1,8...2,0	0,7...0,8	7...10	8,5...12
	Дробленый керамзит или антрацит	0,8...1,8	0,9...1,1	1,6... 1,8	0,4...0,5	7...10	8,5...12

Примечания: 1. При очистке воды для хозяйственно-питьевых нужд принимаются меньшие значения скоростей фильтрования. 2. Для уточнения скорости фильтрования целесообразно провести предварительные технологические исследования, позволяющие учесть свойства исходной воды, технологию ее обработки и другие местные особенности. При применении фильтрующих материалов, не указанных в данной таблице, проведение исследований необходимо. Следует также учесть опыт эксплуатации фильтров с предполагаемыми фильтрующими материалами.

Форсированный режим имеет место в том случае, если дополнительно к промывке часть фильтров находится в ремонте. Одновременно можно отключить на ремонт один фильтр, если на станции до 20 фильтров, и два фильтра, если общее количество фильтров более 20.

Продолжительность фильтроцикла должна в нормальном режиме быть не менее 8 ...12 ч, в форсированном режиме и при полностью автоматизированной промывке — не менее 6 ч.

При полезной производительности станции свыше 1600 м^3/сут на станции должно быть не менее четырех фильтров при $Q>8000$ м^3/сут можно количество необходимых фильтров определить по формуле

$$n_\Phi = 0{,}5 A_\Phi^{0{,}5} \tag{6.5}$$

причем должно быть соблюдено условие

$$v_\Phi = \frac{v_в n_\Phi}{n_\Phi - n_1}, \tag{6.6}$$

где n_1 — число фильтров, находящихся в ремонте.

Площадь одного фильтра не должна превышать 100 ... 120 м^2.

Если фильтры работают с постоянной скоростью фильтрования, над расчетным уровнем воды следует предусмотреть дополнительную высоту $H_{доп}$. Это необходимо для приема дополнительного объема воды, поступающей на работающие фильтры во время промывки части фильтров, м:

$$H_{доп} = \frac{v_0}{\sum A_\Phi}, \tag{6.7}$$

где v_0 — объем воды, накапливающейся за время простоя одновременно промываемых фильтров, м^3; ΣA_Φ — суммарная площадь фильтров, в которых происходит накопление воды, м^2.

Отметка кромки бассейна фильтра должна быть на 0,5 м выше максимального уровня воды в фильтре.

В случае использования перфорированной трубчатой дренажной системы большого сопротивления диаметр дренажного коллектора принимается по всей длине постоянный, скорость течения промывной воды в начале коллектора должна быть не менее 0,8 ... 1,2 м/с, в начале перфорированных труб (ответвлении) — 1,6 ... 2,0 м/с. Диаметр отверстий принимается 10 ... 12 мм, их общая площадь должна составить 0,25 ... 0,5% от площади фильтра. Отверстия устанавливаются в два ряда в шахматном порядке и направляются вниз под углом 45° к горизонтальной плоскости. Расстояние между осями ответвлений 150 ... 200 мм.

Потери напора в дренажной системе, м,

$$h = \zeta \left(\frac{v_к^2}{2g} + \frac{v_0}{2g} \right), \tag{6.8}$$

где $v_к$ и v_0 — скорости течения промывной воды соответственно в начале коллектора и ответвлении, м/с;

$$\zeta = \frac{2{,}2}{K_п^2} + 1, \tag{6.9}$$

где $K_п$ — коэффициент перфорации.

Потеря напора дренажной системы не должна превышать 7 м. При колпачковом дренаже на 1 м^2 фильтра необходимо установить 35 ... 50 колпачков. Для расчета потери напора колпачкового дренажа скорость течения в щелях принимается не менее 1,5 м/с и $\zeta = 4$.

На дренажном коллекторе должен быть установлен стояк-воздушник диаметром 50 ... 75 мм (при площади фильтра до 50 м^2 — один стояк, при площади более 50 м^2 — два стояка). Воздушник 75 ... 150 мм необходимо установить и на подводящем трубопроводе промывной воды.

Для опорожнения фильтра предусматривается трубопровод диаметром 100 ... 200 мм.

Желоба изготовляются из железобетона или нержавеющей стали с полукруглым или треугольным дном. Кромки желобов должны быть строго горизонтальны и в одной плоскости, расстояние между их осями — не более 2,2 м.

Ширина желоба, м,

$$B_ж = K_ж \left[\frac{q_ж^2}{(1{,}57 + a_ж)^3} \right]^{0,2}, \qquad (6.10)$$

где $K_ж = 2$ или 2,1 соответственно при полукруглом или треугольном дне; $q_ж$ — расход промывной воды на один желоб, м^3/ч; $a_ж = 2H_ж / B_ж = 1 \ldots 1{,}5$ — задаваемый коэффициент пропорции желобов; $H_ж$ — высота вертикальной части желобов.

Дно желобов должно быть с уклоном 0,01 в сторону сборного канала. Дно канала должно быть ниже дна желобов на величину

$$H_{кан} = 1{,}73 \left(\frac{q_{тек}^2}{g B_{кан}^2} \right)^{0,33} + 0{,}2 \text{ м}, \qquad (6.11)$$

где $q_{кан}$ — расход промывной воды по каналу, м^3/с; $B_{кан}$ — ширина канала, принимается не менее 0,7 м.

Уровень воды в канале должен быть на 0,2 м ниже дна желоба, что исключает подпор при течении воды из желобов в канал. Расстояние кромки желобов от верха фильтрующего слоя в состоянии его расширения должно быть не менее 0,3 м.

Динамическая высота подъема промывного насоса, или высотная отметка бака промывной воды, рассчитывается с учетом следующих потерь напора: 1) в дренажной системе определяется по формуле (6.8); 2) в поддерживающих слоях определяется по формуле, м,

$$h_{п.сл} = 0{,}22 \omega H_{п.сл}, \qquad (6.12)$$

где $H_{п.сл}$ — общая толщина поддерживающих слоев, м; 3) в фильтрующем слое определяется по формуле, м,

$$h_{ф.сл} = (a + b\omega)H_{ф.сл}, \quad (6.13)$$

где $H_{ф.сл}$ — толщина фильтрующего слоя, м: $a = 0{,}76$; $b = 0{,}017$; если применяется кварцевый песок фракции 0,5 ... 1,0 мм, и $a = 0{,}85$; $b = 0{,}004$, если крупность кварцевого песка 1 ... 2 мм; 4) в подводящих коммуникациях — по методике расчета трубопроводов исходя из скорости течения воды 1,5 ... 2,0 м/с. .

Необходимый объем бака промывной воды

$$V_{пр.Б} = 0{,}12\omega A'_{ф} t_{пр}, \quad (6.14)$$

где $A'_{ф}$ — площадь одного фильтра, $м^2$.

6.6. Контактные осветлители

Контактными осветлителями называют скорые фильтры с фильтрованием снизу вверх в направлении убывающей крупности зерен и с коагулированием воды непосредственно перед загрузкой. В контактном осветлителе в наиболее чистом виде имеет место контактная коагуляция. При этом основная масса взвешенных веществ задерживается в нижних крупнозернистых фракциях. Подача коагулянта непосредственно перед загрузкой предотвращает образование в воде крупных хлопьев, способных быстро засорить фильтр. В результате грязеемкость контактных осветлителей по сравнению с обычными скорыми фильтрами выше. Поэтому на контактные осветлители можно подавать воду с содержанием взвешенных веществ до 120 мг/л и цветностью до 120°. Данное обстоятельство позволяет использовать для осветления и обесцвечивания воды одноступенчатые схемы очистки с контактными осветлителями, которые к тому же менее чувствительны к колебаниям температуры и щелочности исходной воды.

В настоящее время в СНГ применяют два типа контактных осветлителей: КО-1 — безгравийные фильтры с водяной промывкой, сбором фильтрата и промывкой воды желобами и КО-3 — фильтры с поддерживающими слоями, с водовоздушной промывкой, с низким горизонтальным отводом воды через боковой водослив с пескоулавливающим желобом (рис. 6.6).

Перед контактными осветлителями необходимо иметь микрофильтры и входные камеры (см. рис. 6.13). Цель камер заключается в удалении из воды воздуха, сглаживании возможных гидравлических ударов, создании необходимого для работы фильтра запаса напора, обеспечении смешивания воды с реагентами и выдержки необходимого времени контакта.

Входная камера представляет собой вертикальный резервуар, в котором время пребывания воды принимается 5 мин. Требуемая

разница уровней воды, м, во входной камере и в контактном осветлителе определяется как

$$H = 0{,}8\Delta H_{пр} + h_в, \qquad (6.15)$$

где $\Delta H_{пр}$ — предельная потеря напора в КО, принимается равной общей толщине слоя загрузки; $h_в$ — потеря напора на пути движения воды от камеры до загрузки.

Распределение как исходной, так и промывной воды по площади контактного осветлителя КО-1 происходит с помощью перфорированной трубчатой распределительной системы с поперечными перегородками и боковыми шторками (рис. 6.7) согласно рекомендациям табл. 6.5. В КО-3 раздельные распределительные трубы для воды и воздуха устанавливаются попеременно. Для распределения воды необходимо использовать трубы диаметром до 100 мм и с отверстиями 10 ... 13 мм, расположенными по нижней образующей трубы. Скорость движения воды на входе в трубу должна при максимальной интенсивности промывки составить 1,2 ... 1,6 м/с. Расстояние между осями труб 250 ... 300 мм, от низа труб до дна осветлителя 150 ... 170 мм, между отверстиями 150 ... 250 мм. Общая площадь отверстий должна быть в пределах 0,18 ... 0,22% от площади осветлителя.

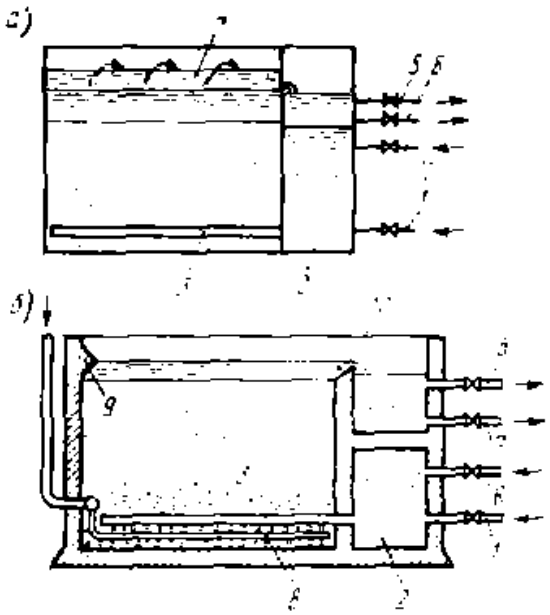


Рис. 6.6. Контактные осветлители:
а — КО-1; б — КО-3; 1 — подача исходной воды; 2 — магистральный канал; 3 — распределительный трубопровод подачи исходной и промывной воды; 4 — желоба; 5 — отвод профильтрованной воды; 6 — отвод промывной воды; 7 — подача промывной воды; 8 — распределительный трубопровод воздуха; 9 — струенаправляющий выступ; 10 — пескоулавливающий желоб

Для подачи воздуха в КО-3 применяют дырчатые полиэтиленовые трубы с отверстиями диаметром 3 ... 5 мм, расположенными на трубах в два ряда в шахматном порядке и направленными вниз под углом 45°. Расстояние отверстий в каждом ряду 0,1 ... 0,2 м, суммарная их площадь 30 ... 35% от площади поперечного сечения трубы. Скорость движения воздуха в трубах 10 ... 20 м/с, на выходе из отверстий 40 ... 50 м/с. Трубы для подачи воздуха укладывают на деревянной подкладке толщиной 25 ... 40 мм на дно осветлителя и крепят хомутами к поперечно расположенному швеллеру или другой опоре, заделываемой в дно осветлителя.

Таблица 6.5. Параметры трубчатой дренажной системы контактных осветлителей

Диаметр труб ответвлений, мм	Отношение суммарной площади отверстий к площади осветлителя, %	Расстояние, мм			
		между осями труб	от дна осветлителя до низа шторок	от низа шторок до оси труб	между поперечными перегородками
75	0,28...0,3	240...260	100...120	155	300...400
100	0,26...0,28	300...320	120...140	170	400...600
125	0,24...0,26	350...370	140...160	190	600...800
150	0,22...0,24	440...470	160...180	220	800...1000

Примечание. Диаметр отверстий принимается 10 ... 14 мм.

Для обеспечения возможности ревизии магистральный канал должен во всех КО иметь высоту не менее 1,5 м и ширину не менее 0,8 м.

Система низкого отвода воды с пескоулавливающим желобом (см. рис. 6.6, *б*) рассчитывается по рекомендациям табл. 6.6.

Загрузка контактных осветлителей проектируется по рекомендациям табл. 6.7. Общая толщина загрузки принимается до 3 м.

Таблица 6.6. Система низкого отвода воды с пескоулавливающим желобом

Высотное расположение конструктивных элементов	Расход промывной воды на 1 м водослива при совместной подаче воды и воздуха, л/с · м			
	10	15	20	25
Разность отметок верхней и нижней кромок водослива, мм	170	210	266	320
Разность отметок между верхними кромками водослива и щитка, мм	20	20	20	25

Примечание. Зазор между нижней кромкой щитка и водосливом принимается 15 ... 20 мм, расстояние от нижней кромки водослива до щитка — 30 ... 40 мм, от верхней кромки щитка до уровня песка — 50 ... 100 мм.

Для промывки контактных осветлителей можно использовать нефильтрованную воду, если мутность воды не превышает 10 мг/л и коли-индекс не более 1000. Режим водяной промывки КО-1, принимается по табл. 6.8. Водовоздушная промывка КО-3

производится в три этапа: барботирование загрузки сжатым воздухом 1 ... 2 мин с интенсивностью 18 ... 20 л/с·м^2; совместная водовоздушная промывка 6 ... 7 мин при интенсивности подачи воздуха 18 ... 20 л/с·м^2 и воды 3 ... 3,5 л/с·м^2; промывка водой 5 ... 7 мин с интенсивностью 6 ... 7 л/с·м^2.

Таблица 6.7. **Выбор загрузки контактных осветлителей**

Характеристика загрузки	Толщина слоев, мм	
	КО-1	КО-3
Крупность зерен фракции фильтрующего материала и поддерживающих слоев, мм:		
40...20	-	0,2...0,25
20...10	-	0,1...0,15
10...5	-	0,15...0,2
5...2	0,5...0,6	0,3...0,4
2...1,2	1,0...1,2	1,2...1,3
1,2...0,7	0,8...1,0	0,8...1,0
Эквивалентный диаметр фильтрующего слоя, мм	1,0...1,3	1,0...1,3

Скорости фильтрования на контактных осветлителях принимаются:

а) при отсутствии поддерживающих слоев:
в нормальном режиме 4 ... 5 м/ч;
в форсированном режиме 5 ... 5,5 м/ч;
б) при наличии поддерживающих слоев:
в нормальном режиме 5 ... 5,5 м/ч,
в форсированном режиме 5,5 ... 6 м/ч.

Таблица 6.8. **Режим промывки КО-1**

Показатель	Количество
Продолжительность промывки, мин	7...8
Интенсивность промывки, л/с·м^2	15...18
Продолжительность сброса первого фильтра, мин:	
при использовании фильтрованной воды	10...12
при использовании нефильтрованной воды	12...15

Скорость восходящего фильтрования ограничивается требованием динамической устойчивости загрузки, т. е. необходимостью обеспечить неподвижность зерен в восходящем потоке воды. Предельная потеря напора лимитируется условием статической устойчивости загрузки — разница сил гидростатического давления на слой загрузки

снизу и сверху должна быть меньше массы загрузки в воде. Поэтому в КО используются кварцевый песок и другие плотные материалы. При кварцевом песке с учетом его плотности 2,65 г/см^3 условие статической устойчивости загрузки еще соблюдается при потере напора, не превышающей общую толщину слоя.

Данный недостаток КО, а также проблемы, связанные с неполным удалением из воды воздуха перед загрузкой, устранены в контактных фильтрах, в которых вода фильтруется сверху вниз. Однако здесь обеспечение принципа фильтрования в направлении убывающей крупности зерен требует наличия многослойной загрузки, причем слои не должны перемешиваться при восходящей промывке. Кроме того, возникают конструктивные проблемы подачи коагулянта непосредственно перед загрузкой. Обычно это делается установкой над фильтрующим слоем трубчатой распределительной системы.

В двухпоточных фильтрах взвешивающее воздействие на загрузку восходящего потока компенсируется тем, что часть воды подается сверху вниз. Дренаж находится внутри загрузки. Двухпоточные фильтры могут быть напорные или самотечные, используется водяная или водовоздушная промывка. Данные фильтры применяют в основном для подготовки технических вод.

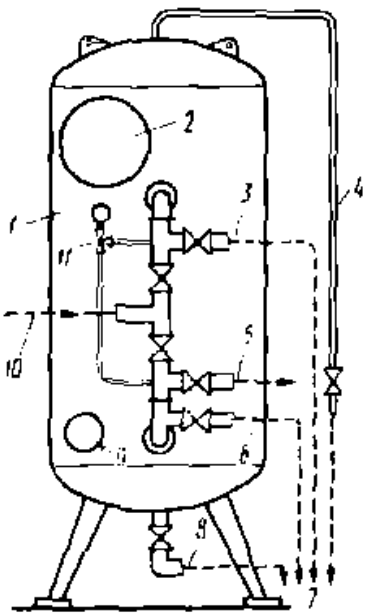


Рис. 6.7. Схема напорного фильтра с водяной промывкой:
1 — резервуар; *2*, *9* — люки для монтажа дренажной системы и установки загрузки; *3* — отвод промывной воды; *4* — воздушник; *5* — отвод фильтрата; *6* — отвод первого фильтрата; *7* — отвод в канализацию; *8* — опорожнение; *10* — подвод исходной и промывной воды; *11* — трехходовой кран с манометром

6.7. Напорные фильтры

Серийно выпускаются как вертикальные, так и горизонтальные напорные осветлительные фильтры. Они представляют собой металлические резервуары, оборудованные дренажно-распределительной системой и необходимыми трубопроводами. В напорном фильтре создается избыточное давление, достаточное для фильтрования и дальнейшей подачи фильтрованной воды потребителю. Это позволяет отказаться от насосов второго подъема. Фильтры широко применяются для осветления, обесцвечивания, обезжелезивания вод на станциях небольшой производительности, для очистки вод плавательных бассейнов, для подготовки воды в производственных целях.

Дренаж напорных фильтров обычно выполнен из щелевых труб или колпачков без поддерживающих слоев. Загрузка одно- или

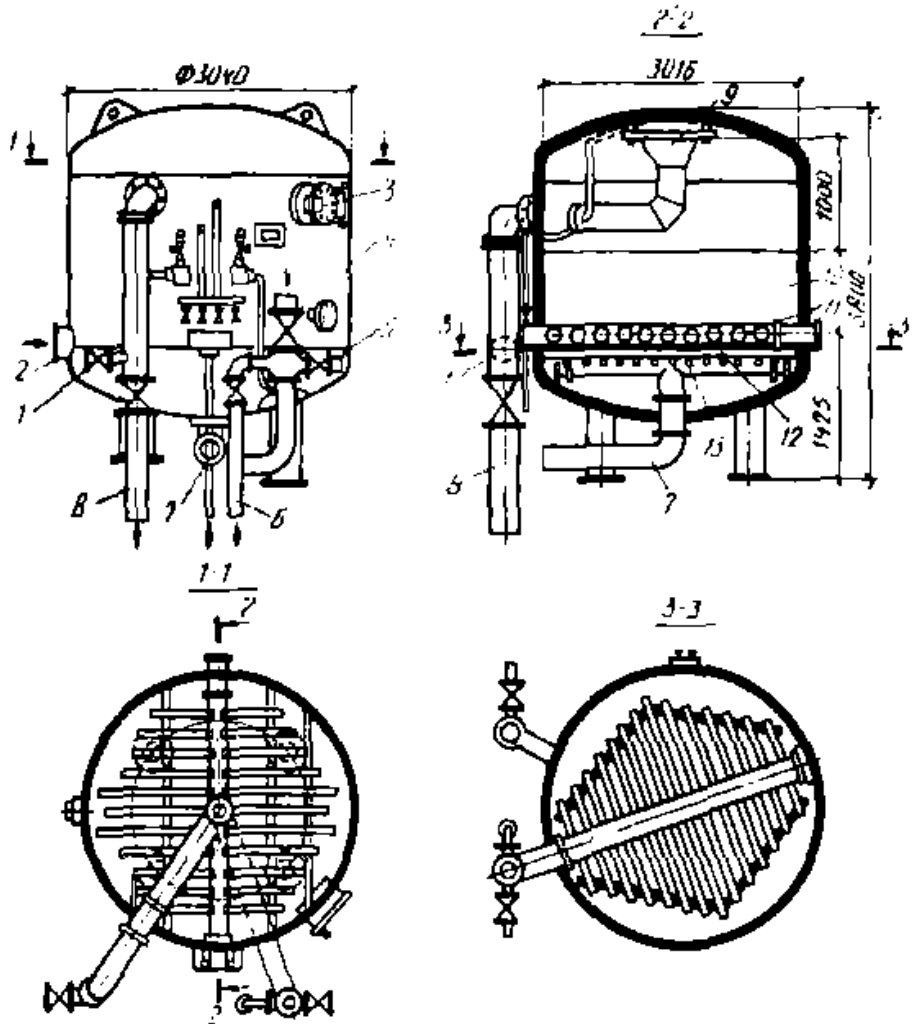


Рис. 6.8. Вертикальный напорный фильтр с водовоздушной промывкой:
1 — подача исходной воды; 2 — штуцер для гидравлической выгрузки материала; 3 — люк; 4 — подача промывной воды; 5 — отвод фильтрата; 6 — опорожнение фильтра; 7 — подача воздуха; 9 — водосборная воронка; 10 — слой фильтрующего материала; 11 — распределительная система воды; 12 — поддерживающий слой из гравия; 13 — распределительная система воздуха

двухслойная общей толщиной 1 ... 1,2 м. Используется водяная или водовоздушная промывка. Имеются конструкции фильтров с поддерживающими слоями и с трубчатой перфорированной дренажной системой.

На рис. 6.7 представлена схема вертикального напорного фильтра малого диаметра с применением водяной промывки, на рис. 6.8 — схема фильтра с водовоздушной промывкой. Из соображений удобства перевозок наибольший диаметр напорных фильтров принят до 3,4 м. Площадь фильтрования такого фильтра составит 7,1 м^2. При определенной производительности станции это, однако, предполагает

Таблица 6.9. Номенклатура напорных осветлительных фильтров

Наименование фильтра	Шифр	Диаметр, мм	Строительная высота, мм	Нагрузочная масса, т
Осветлительный вертикальный	ФОВ-1,0-6	1000	2964	4,0
	ФОВ-1,0-6	1000	3040	3,5
	ФОВ-1,4-6	1400	3392	5,5
	ФОВ-1,5-6	1500	3357	8,5
	ФОВ-2,0-6	2000	3630	15,0
	ФОВ-2,6-6	2600	4015	28,0
	ФОВ-3,0-6	3000	4385	37,0
	ФОВ-3,4-6	3400	4545	50,0
Осветлительный вертикальный двухкамерный	ФОВ 2К-3,4-6	3400	5500	70,0
Осветлительный вертикальный трехкамерный	ФОВ 3К-3,4-6	3400	7060	102,0
Осветлительный горизонтальный	ФОГ-3,6-5,5	3000	4630 5510	62,0
	ФОГ-3,6-10,5	3000	4630 10500	117,0

наличие большого количества фильтров. В этих случаях более целесообразными являются горизонтальные напорные фильтры с площадью фильтрования до 30 м^2.

В табл. 6.9 приведены основные данные серийно выпускаемых в СССР напорных осветлительных фильтров.

6.8. Самопромывающиеся фильтры

На рис. 6.9 приведена схема самопромывающегося фильтра, который включается на промывку автоматически при срабатывании сифона.

Сифон *10* включается в работу при повышении

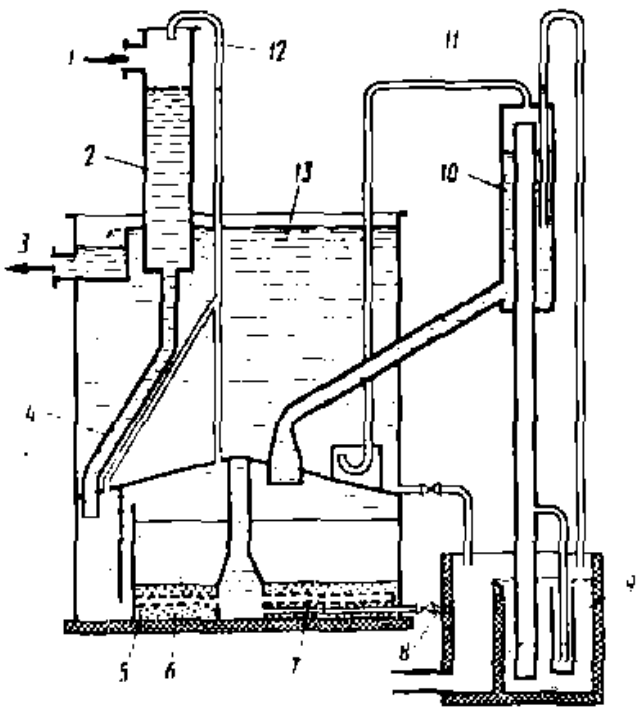


Рис. 6.9. Самопромывающийся фильтр:
1 — подача исходной воды; *2* — колонна; *3* — отвод фильтрата; *4* — опускная труба; *5* — поддерживающий слой; *6* — фильтрующий слой; *7* — дренаж; *8* — опорожнение; *9* — сборный резервуар промывной воды; *10* — сифон; *11* — трубка, прерывающая работу сифона

уровня исходной воды в колонне *2* до верхней кромки сифона в результате роста потери напора загрузки.

Для промывки используется фильтрованная вода из резервуара *13*. Сифон выключается и промывка заканчивается при понижении уровня в резервуаре *13* до нижнего конца трубки *11*.

Регулировочная арматура отсутствует. Применяют для грубой очистки воды.

6.9. Фильтры с плавающей загрузкой

В фильтрах с плавающей загрузкой (ФПЗ) применяют гранулированные высокопористые материалы, наружная поверхность зерен которых покрыта водонепроницаемой пленкой. Хорошие результаты получены при использовании гранул пенополистирола крупностью 0,3 ... 6 мм, а также шунгизита и керамзита при соответствующем изготовлении гранул этих материалов. Разработаны различные конструкции напорных, самотечных и контактных ФПЗ. Толщина фильтрующего слоя принимается до 1,2 м, скорость фильтрования в зависимости от назначения фильтрованной воды до 20 ... 25 м/ч. Основное преимущество ФПЗ заключается в отсутствии дренажной системы в толще зернистого материала, что значительно упрощает регенерацию загрузки и повышает надежность ее эксплуатации. Промывка фильтра — сверху вниз (рис. 6.10), для промывки используется объем воды над фильтрующими материалами. Промывной насос не требуется, достаточно открыть задвижку на трубопроводе *5*. Интенсивность промывки 10 ... 12 л/с·м^2, продолжительность — 3 ... 4 мин. По сравнению со скорыми фильтрами с песчаной загрузкой у ФПЗ большая грязеемкость, что позволяет увеличить скорость фильтрования и подавать на фильтры воду с большей концентрацией взвешенных веществ.

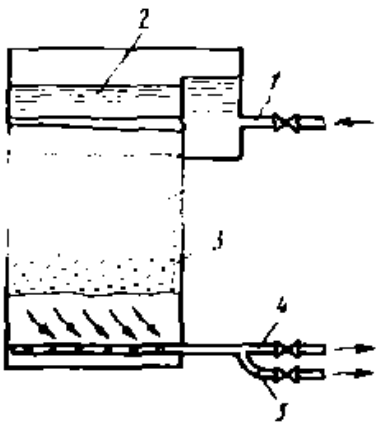


Рис. 6.10. Схема фильтра с плавающей загрузкой:

1 — подача исходной воды; *2* — надзагрузочный объем воды, используемый для промывки фильтра; *3* — загрузка; *4* — отвод фильтрованной воды; *5* — отвод промывной воды

Основная область применения ФПЗ сельскохозяйственное водоснабжение.

6.10. Сверхскоростные фильтры

Для подготовки технических вод нашли применение сверхскоростные напорные фильтры, работающие при скорости фильтрования 10 ... 25 м/ч. Ввиду большой скорости фильтрования в сверхскоро-

тных фильтрах происходит быстрая кольматация загрузки, что требует частых промывок, поэтому управление работой таких фильтров полностью автоматизировано.

Сверхскоростные фильтры секционного типа (рис. 6.11) применяют при производительности до 150 м³/ч. Фильтр представляет собой резервуар с установленной внутри цилиндрической камерой. Пространство между стенками резервуара и камеры разделено вертикальными перегородками на восемь секций (отсеков) с гравийно-песчаной загрузкой. Вращающийся патрубок поочередно останавливается перед верхними щелевыми окнами. В результате большого избыточного давления в фильтре данный отсек включается в промывку, остальные отсеки продолжают работать. Продолжительность фильтроцикла каждого отсека 70 мин, продолжительность промывки 10 мин.

Сверхскоростные фильтры изготовляют диаметром до 3 м. При большой производительности станции применяют сверхскоростные фильтры батарейного типа, состоящие из отдельных напорных фильтров, связанных единым гидравлическим режимом и дистанционным управлением.

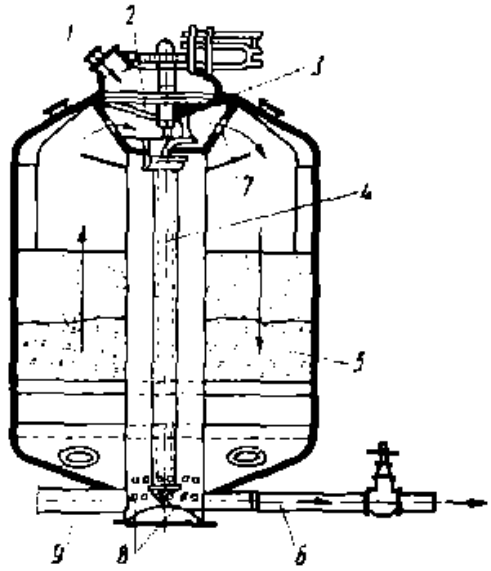


Рис. 6.11. Сверхскоростной фильтр секционного типа системы Г. Н. Никифорова:

1 — подача исходной воды; 2 — распределительный клапан; 3 — вращающийся патрубок; 4 — центральный стояк для сбора и отвода промывной воды; 5 — загрузка фильтра; 6 — отвод промывной воды; 7, 8 — щели; 9 — отвод фильтрата

6.11. Двухступенчатое фильтрование

При двухступенчатой очистке поверхностных вод с малым содержанием взвешенных веществ в зимних условиях могут возникать затруднения, связанные с неудовлетворительным прохождением процесса коагуляции. Это прежде всего сказывается на работе отстойников и осветлителей. Поэтому при достаточно длинном низкотемпературном периоде и при содержании в воде взвесей до 300 мг/л и максимальной цветности до 250 град рекомендуется использовать метод двухступенного фильтрования поверхностных вод (рис. 6.12).

В качестве фильтра первой ступени обычно применяется контактный осветлитель КО-3, работающий за пределами своего защитного действия.

Основные преимущества двухступенчатого фильтрования перед классической двухступенчатой очисткой (отстойник или осветлитель со взвешенным осадком, фильтр) сводятся к более высокому и

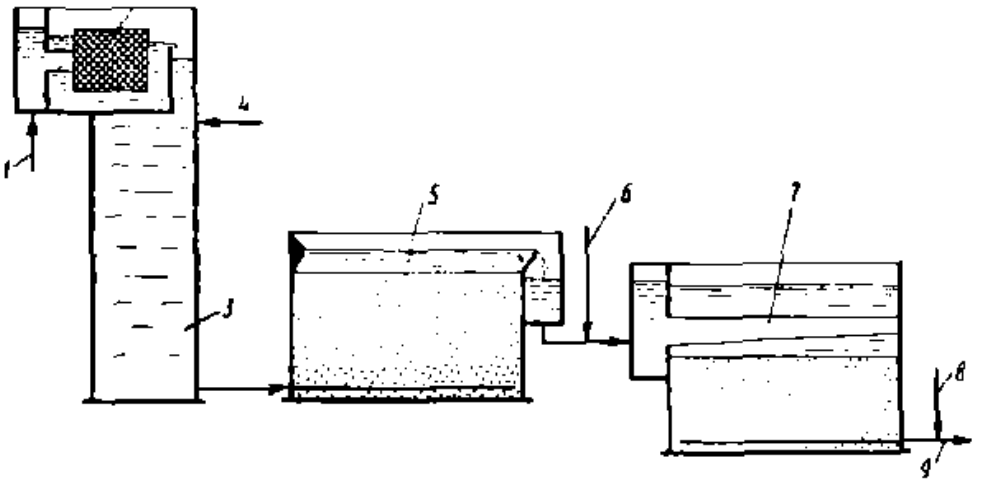


Рис. 6.12. Двухступенчатое фильтрование
1 — подача исходной воды; 2 — микрофильтр; 3 — входная камера; 4, 6, 8 — ввод реагентов; 5 — фильтр 1-й ступени; 7 — фильтр 2-й ступени; 9 — отвод очищенной воды

стабильному в течение всего года эффекту очистки. Кроме того, уменьшается необходимый объем сооружений, сокращается расход коагулянта, появляется возможность более гибко управлять процессом очистки путем варьирования точками ввода реагентов и частотой промывки фильтров 1-й ступени.

Во входные камеры добавляется, как правило, хлор, коагулянт, флокулянт, перед фильтрами 2-й ступени еще раз флокулянт и в очищенную воду вторично хлор.

В фильтре 1-й ступени используется загрузка из кварцевого песка с эквивалентным диаметром 1,1 ... 1,3 мм и толщиной слоя 2 ... 2,2 м. Скорость фильтрования принимается 5,5 ... 7,5 м/ч, расчетная продолжительность фильтроцикла 12 ч.

Фильтрат из фильтра 1-й ступени усредняется и направляется на фильтры 2-й ступени, расчет которых происходит исходя из общих требований (см. § 6.5).

6.12. Фильтрование через слой осадка

Медленные фильтры. Медленный фильтр представляет собой железобетонный резервуар из вытянутой формы (ширина до 6 м, длина до 60 м), обусловленной спецификой регенерации загрузки. Фильтрующий материал — мелкозернистый кварцевый песок крупностью 0,3 ... 1 мм, толщина слоя 0,5 м. Кроме того, используются гравийные поддерживающие слои крупностью 1 ... 40 мм при общей толщине 0,25 м. Дренаж выполняют из перфорированных труб или пористого бетона, при площади фильтра до 15 м^2 фильтрат можно собирать при помощи лотка, установленного на дно фильтра. Расчетная скорость фильтрования 0,1 ... 0,2 м/ч, толщина слоя воды над загрузкой 1,5 м.

В отличие от скорых и сверхскоростных фильтров в медленных фильтрах преимущество имеет пленочное фильтрование, где основную функцию фильтра выполняет пленка из задержанных примесей, образующаяся на поверхности слоя зернистого материала.

Находящиеся в пленке микроорганизмы разлагают органические вещества, в результате этого после медленных фильтров в воде повышается содержание CO_2. Большинство минерализованных веществ и промежуточных продуктов распада органических веществ задерживается в самой пленке и верхнем слое зернистого материала толщиной 2 ... 3 см. Благодаря биологическим процессам и большой плотности пленки в медленных фильтрах задерживается до 99% бактерий, значительно снижается концентрация растворенных в воде органических веществ.

Для жизнедеятельности микробов в воде необходим растворенный кислород. При концентрации O_2 ниже 0,5 мг/л начинают развиваться анаэробные процессы, сопровождающиеся распадом минеральных солей. В результате в воде могут оказаться соединения, вызывающие появление запахов и привкусов (H_2S, CH_4 и др.), а также токсичные вещества.

Пленка образуется на поверхности зернистого слоя в течение нескольких часов после включения фильтра в работу. Созревание биологически активной пленки длится не менее 2 сут. В зависимости от свойств исходной воды фильтр может работать без регенерации загрузки несколько недель.

Регенерация загрузки медленного фильтра может быть механическая или гидравлическая. При механической регенерации уровень воды в фильтре опускают на 20 ... 25 см ниже уровня песка и срезают вручную верхний, наиболее загрязненный слой песка толщиной 15 ... 20 мм. Выгрузку песка из фильтра производит эжектором, после промывки песок может быть снова использован для загрузки.

Окончательная регенерация загрузки производится обратной промывкой с использованием профильтрованной воды. Расход промывной воды принимается 9 л/с·м^2, продолжительность промывки — 3 мин на каждые 10 м длины фильтра. Сборные желоба над слоем загрузки не устанавливаются, промывная вода отводится через боковой водослив. Слой зернистого материала пополняется чистым песком после каждых 10 ... 15 циклов регенерации. Механическая регенерация целесообразна в случае производительности станции до 1000 м^3/сут и максимальной мутности исходной воды 50 мг/л.

Гидравлическая регенерация рекомендуется для станции производительностью до 30 000 м^3/сут и максимальной концентрации взвесей в воде до 700 мг/л. СНиП 2.04.02—84 допускает применение медленных фильтров даже при любой производительности станции и максимальном содержании взвесей до 1500 мг/л. Гидравлическая регенерация происходит без удаления верхнего

слоя зернистого материала. Одновременно с промывкой осуществляется рыхление верхнего слоя песка механически или струями воды. Продолжительность фильтроцикла при гидравлической регенерации загрузки сократится по сравнению с механической в десятки раз.

При высокой концентрации в воде взвешенных веществ перед медленными фильтрами целесообразно устанавливать грубозернистые префильтры (крупность зерен 1 ... 2 мм, толщина слоя 0,7 м, скорость фильтрования 3 ... 5 м/ч). Если исходная вода загрязнена водорослями, вместо префильтров можно использовать микрофильтры.

Медленные фильтры применяют в основном в сельскохозяйственном водоснабжении. Их недостатки — сложность и трудоемкость регенерации, высокая строительная стоимость, большая площадь сооружений. Положительными свойствами являются высокий эффект очистки, отсутствие реагентного хозяйства, длинный фильтроцикл.

Намывные фильтры. В намывных фильтрах фильтрующим материалом служит слой порошка, предварительно намытый на фильтрующую основу. В качестве основы применяют синтетические ткани, плотные металлические сетки, пористые керамические плиты и др. Рекомендуемый диаметр отверстий в основе 100 ... 150 мкм. Для образования намывного слоя пригодны легкие, высокопористые материалы крупностью частиц 50 ... 70 мкм. Наиболее широко используют для этого диатомит и перлит. Последний распространен в СНГ, получают его дроблением породы вулканического происхождения с последующим обжигом при температуре 800 ... 1000° С. Пористость перлита составляет 85 ... 90%, насыпная масса — 80 ... 120 кг/м^3.

Намывные фильтры — это компактные, напорные водоочистные сооружения заводского изготовления с плоскими или цилиндрическими фильтрующими элементами. Используются также намывные фильтры открытого типа. Фильтры применяют для очистки воды плавательных бассейнов (рис. 6.13), для обработки различных оборотных вод, а также при подготовке хозяйственно-питьевых вод для малых водопотребителей, если мутность исходной воды не превышает 40 мг/л и цветность 30°.

Предварительно в баке изготовляют суспензию намывного материала. Фильтр заполняют исходной водой и включают насос. Циркуляцию воды через фильтр и бак продолжают до тех пор, пока качество воды на выходе из фильтра будет соответствовать требованиям. Продолжительность циркуляции 3 ... 5 мин, расход материала 300 ... 400 г на 1 м^2 фильтрующей поверхности. После этого фильтр включается в работу. При достижении потери напора

15 ... 20 м фильтр промывается обратным током воды. Расход промывной воды 0,5 ... 0,7% от полезной производительности фильтра, время промывки 15 мин. Скорость фильтрования зависит от концентрации взвесей в воде и определяется экспериментально

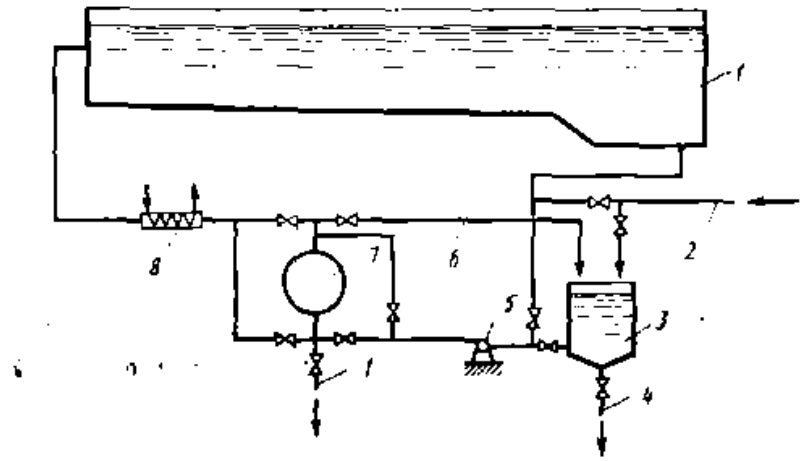


Рис. 6.13. Принципиальная схема оборотного водоснабжения плавательного бассейна с использованием намывных фильтров:
1 — бассейн; 2 — сырая вода; 3 — бак суспензии намывного фильтра; 4 — отвод промывной воды и опорожнение системы; 5 — насос; 6 — циркуляционный трубопровод; 7 — намывной фильтр; 8 — водонагреватель

в пределах 1 ... 50 м/ч. Продолжительность фильтроцикла 36 ... 60 ч. Для продления фильтроцикла в процессе работы фильтра в воду можно постоянно или периодически подавать 3 ... 10 мг/л намывного материала.

ГЛАВА 7

ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ, ОБРАБОТКА ВОДЫ ОКИСЛИТЕЛЯМИ И СОРБЕНТАМИ

7.1. Способы обеззараживания воды, роль окислителей в водоподготовке

Обеззараживанием воды называют процесс уничтожения находящихся там микроорганизмов. До 98% бактерий задерживается в процессе очистки воды. Но среди оставшихся бактерий, а также среди вирусов могут находиться патогенные (болезнетворные) микробы, для уничтожения которых нужна специальная обработка воды. При полной очистке поверхностных вод обеззараживание необходимо всегда, при использовании подземных вод только тогда, когда

микробиологические свойства исходной воды этого требуют. Для профилактического обеззараживания и обработки воды в аварийных ситуациях сооружения обеззараживания необходимы на всех станциях подготовки хозяйственно-питьевых вод.

Для обеззараживания используют в основном два метода — обработку воды сильными окислителями и воздействие на воду ультрафиолетовыми лучами. Кроме названных можно необходимый эффект получить фильтрованием воды через ультрафильтры, обработкой ультразвуком, кипячением воды. Для очистки поверхностных вод почти исключительно применяют окислители — хлор, хлорсодержащие реагенты, озон; для обеззараживания подземных вод можно использовать бактерицидные установки; для обеззараживания небольших порций воды — перманганат калия, перекись водорода. Надежным средством уничтожения микробов является кипячение воды.

При подаче в воду окислителей большая часть ее израсходуется на окисление органических и некоторых минеральных веществ. В результате снижаются цветность воды, а также интенсивность привкусов и запахов, эффективнее будет проходить процесс последующей коагуляции примесей. Скорость процесса обеззараживания растет с повышением температуры воды и переходом реагента в недиссоциированную форму. Взвешенные вещества оказывают отрицательное воздействие, поскольку препятствуют контакту микробов с реагентом.

Если окислитель используется только для обеззараживания, то он подается в воду перед резервуаром чистой воды, где обеспечивается и необходимое время контакта; если цель обработки — окисление органических веществ, то реагент подается в воду перед очистными сооружениями. Хорошие результаты дает двухступенчатая обработка, когда часть реагента — окислителя — подается до, часть — после очистных сооружений.

7.2. Хлорирование воды

Хлорирование воды жидким хлором, хлорное хозяйство водоочистных станций. Хлор — ядовитый газ зеленовато-желтого цвета с резким удушливым запахом, в 2,45 раза тяжелее воздуха. Растворимость хлора в воде увеличивается с понижением температуры и повышением давления; при атмосферном давлении и температуре 20° С растворимость Cl_2 составляет 7,29 г/л. При низкой температуре и высоком давлении (-34,6° С при атмосферном давлении или 0,575 МПа при 15° С) хлор сжижается. Для предотвращения испарения жидкий хлор хранится под давлением 0,6 ... 0,8 МПа в баллонах или в бочках (контейнерах).

Заводы поставляют хлор в баллонах массой до 100 кг и в контейнерах массой до 3000 кг, а также в железнодорожных цистернах вместимостью 48 т.

При добавке в воду хлора происходит его гидролиз

$$Cl_2 + H_2O \rightleftarrows HClO + HCl \qquad (7.1)$$

Часть хлорноватистой кислоты HClO диссоциируется с образованием гипохлоритного иона OCl^-.

При наличии в воде аммиака образуются моно- и дихлорамины:

$$HClO + NH_3 \rightleftarrows NH_2Cl + H_2O,$$
$$HClO + NH_2Cl \rightleftarrows NHCl_2 + H_2O \qquad (7.2)$$

Основными обеззараживающими веществами являются Cl_2, HClO, ClO^-, NH_2Cl и $NHCl_2$, их называют активным хлором. При этом Cl_2, HClO и ClO^- образуют свободный хлор, NH_2Cl и $NHCl_2$ — *связанный хлор. Бактерицидность хлора больше при малых* значениях pH, поэтому воду хлорируют до ввода подщелачивающих реагентов.

Необходимая доза хлора определяется на основе экспериментально построенной кривой хлоропоглощаемости воды. Оптимальной считается доза, которая при заданном времени контакта обеспечит в воде требуемую концентрацию остаточного хлора — для хозяйственно-питьевых вод 0,3 ... 0,5 мг/л свободного хлора при времени контакта 30 мин или 0,8 ... 1,2 мг/л связанного хлора при времени контакта 60 мин.

При отсутствии данных технологических изысканий дозу хлора принимают для обеззараживания поверхностных вод 2 ... 3 мг/л, для подземных 0,7 ... 1,0 мг/л.

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

Ввиду малой растворимости жидкого хлора поступающий реагент предварительно испаряется. Затем хлор-газ растворяют в малом количестве воды, получаемую хлорную воду перемешивают с обрабатываемой водой. Дозировка хлора происходит в фазе газообразного вещества, соответствующие газодозаторы называются хлораторами. На практике применяют как напорные, так и вакуумные хлораторы. СНиП 2.04.02—84 требует использования последних, так как при вакуумных хлораторах меньше опасность попадания хлор-газа в воздух помещений. Имеются хлораторы пропорционального и постоянного расхода, а также автоматические хлораторы, поддерживающие в воде заданную концентрацию остаточного хлора.

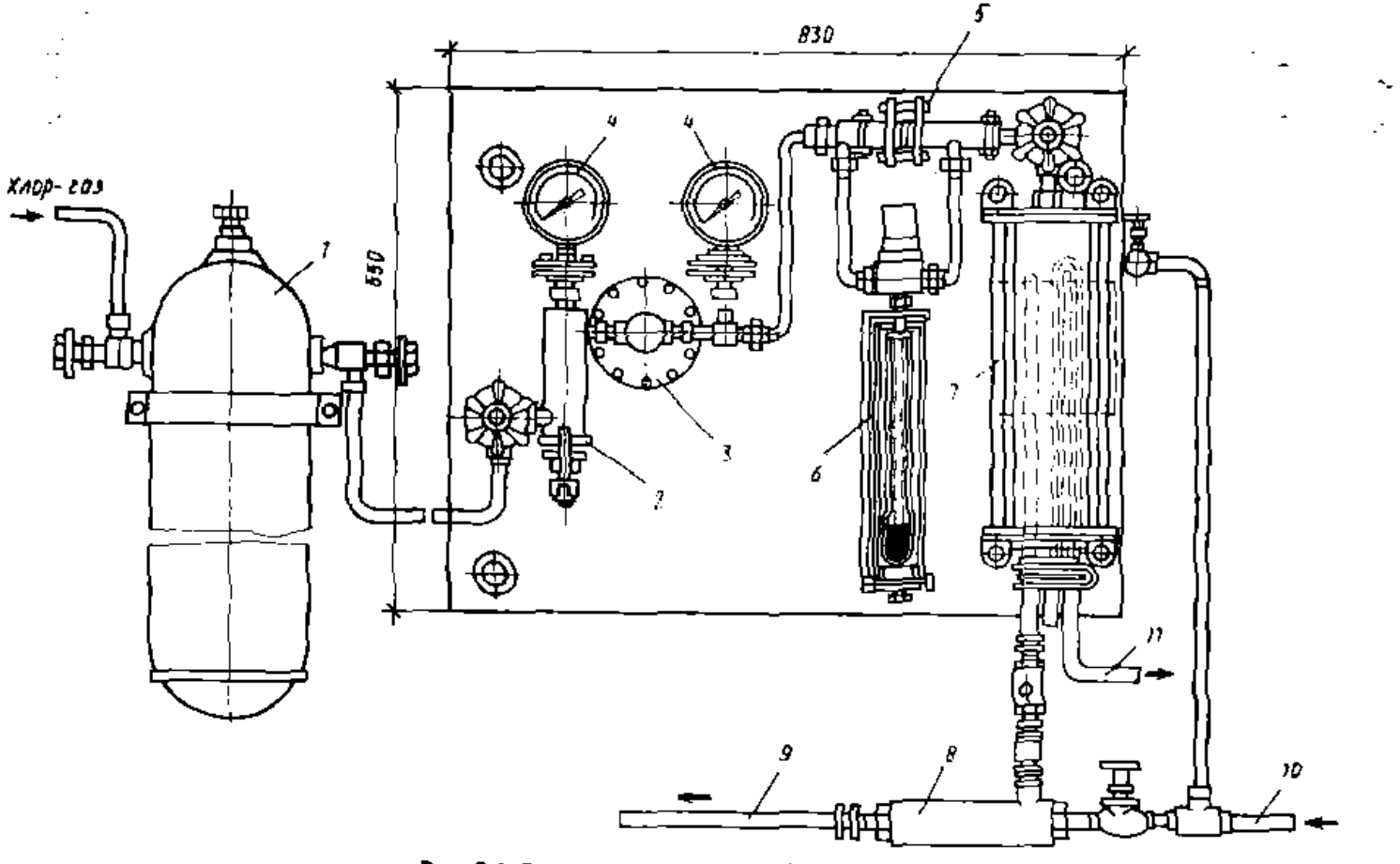


Рис. 7.1. Вакуумный хлоратор ЛОНИИ-100:

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

В стране наиболее широко используют вакуумные хлораторы постоянного расхода ЛОНИИ-100 производительностью до 85 кг/ч Cl_2 (рис. 7.1).

Для испарения хлора баллон или контейнер устанавливают на весы и открывают вентиль. Съем хлор-газа с одного баллона при комнатной температуре составит 0,5 ... 0,7 кг/ч, с одного контейнера — 3 кг/ч на 1 м^2 его поверхности. Съем хлора можно значительно увеличить подогревом баллонов теплой водой или воздухом. Поэтому на крупных станциях используют специальные испарители хлора в виде бокса, куда устанавливают баллон или контейнер и подается теплая вода или подогретый воздух.

Хлор-газ поступает в промежуточный баллон, где задерживаются капли воды и прочие примеси. Более полная очистка газа происходит в фильтре, который заполнен стекловатой, замоченной в серной кислоте. Редуктор обеспечивает постоянное давление в системе; измерительное устройство в виде диафрагмы и ротаметра обеспечивает контроль и регулировку количества подаваемого хлора. Производительность хлоратора зависит от применяемого ротаметра: при РС-3 — до 10 кг/ч, при РТ-5 — до 20 кг/ч и при РС-7 — до 85 кг/ч. Приготовление хлорной воды происходит в смесителе. Необходимый вакуум создается эжектором, при помощи которого хлорная вода подается в обрабатываемую воду.

Схема автоматического хлоратора, разработанного на Таллиннской водоочистной станции, приведена на рис. 7.2. Исполнительный механизм *6* и дифманометр с электрическим выходом *11* присоединены к автоматическому регулятору, который, изменяя положение вентиля мембранного регулятора *5*, обеспечит постоянную дозу хлора в условиях меняющегося расхода обрабатываемой воды. Включением в схему регулирования анализатора остаточного хлора можно автоматически поддерживать заданную концентрацию хлора в очищенной воде в условиях изменения свойств поступающей воды.

Хлорное хозяйство водоочистной станции располагается в отдельном здании, где сблокированы склад хлора, испарительная и хлораторная.

Расходный склад хлора отделен от остальных помещений глухой стеной без проемов. Склад может находиться и в самостоятельном здании. В таком случае там обычно располагают также испарительную, причем хлораторная находится в основном блоке водоочистных сооружений. 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.

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 аварийных контейнеров или баллонов.

Если трубопровод хлор-газа расположен вне здания, на выходе из испарителя требуется установка вакуумного клапана, исключающего возможность конденсации газа при низкой температуре окружающего воздуха. Трубопроводы жидкого и газообразного хлора изготовляют из стальных бесшовных труб диаметром до 80 мм,

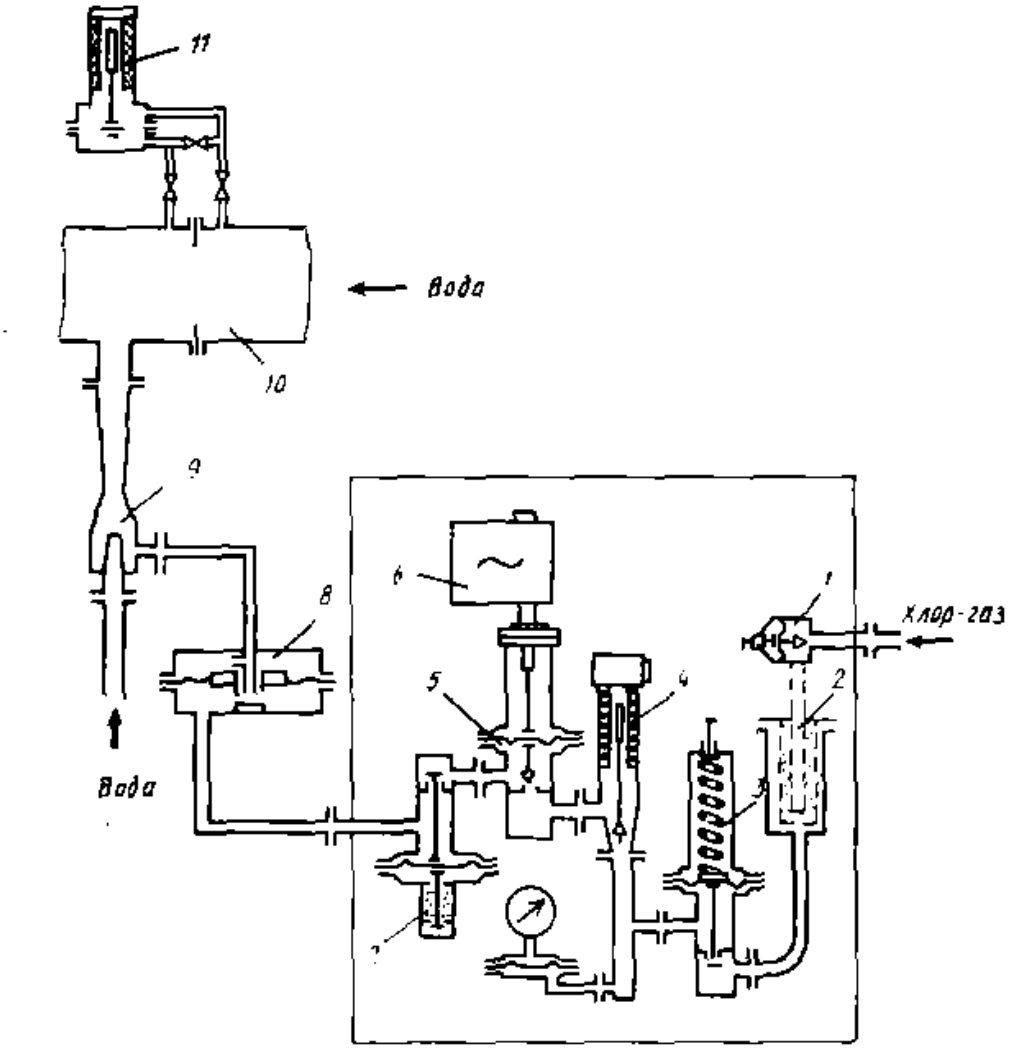


Рис. 7.2. Схема автоматического хлоратора Таллиннской водоочистной станции (механическая часть):

1 — предохранительный клапан; *2* — фильтр; *3* — редуктор; *4* — ротаметр; *5* — мембранный регулятор; *6* — исполнительный механизм; *7* — вакуумный клапан; *8* — обратный клапан; *9* — эжектор; *10* — диафрагма; *11* — дифманометр

рассчитанных на рабочее давление 1,6 МПа. Внутри помещения хлоропровод размещают по стенам или эстакадам на кронштейнах, вне здания — на эстакадах, предусматривая защиту трубопровода от солнечных лучей.

В хлораторных устанавливают дозаторы хлора с необходимой арматурой и трубопроводами. Хлораторные (хлордозаторные) могут находиться в основном корпусе станции либо в здании хлорного хозяйства. Помещение хлораторной должно быть отделено от других помещений глухой стеной без проемов и иметь два выхода, причем один из них через тамбур. Все дверн должны открываться наружу, в помещении должна быть принудительная вытяжная вентиляция.

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

Хлорирование воды порошкообразными хлорсодержащими реагентами и диоксидом хлора. На малых станциях и водоочистных установках часто целесообразно отказаться от использования жидкого хлора и применять твердые, порошкообразные вещества — хлорную известь и гипохлорит кальция. Эти вещества менее опасны в обращении, процесс их подготовки и подачи значительно проще — практически аналогичен применению коагулянта.

Хлорную известь получают при обработке сухой, негашеной извести хлором

$$Ca(OH)_2 + Cl_2 \rightarrow CaCl_2O + H_2O \qquad (7.3)$$

При контакте с воздухом и влагой хлорная известь постепенно разлагается

$$2CaCl_2O + CO_2 + H_2O \rightarrow CaCo_3 + CaCl_2 + 2HClO \qquad (7.4)$$

поэтому реагент необходимо хранить в сухом, вентилируемом помещении в закрытой таре.

Гипохлорит кальция образуется при насыщении известкового молока хлором

$$2Ca(OH)_2 + 2Cl_2 \rightarrow Ca(ClO)_2 + CaCl_2 + 2H_2O \qquad (7.5)$$

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 суспензии. Объем растворных баков, м^3,

$$V_p = \frac{qnД_x}{100в_x c\rho},$$

где q — расчетный расход воды, м^3/ч; $n = 12 \ldots 24$ ч — количество часов, на которое заготавливается раствор; $Д_x$ — доза активного хлора, г/м^3; $в_x = 1 \ldots 2$ — концентрация раствора по активному веществу, %; c — содержание активного хлора в товарном продукте, %; ρ — плотность раствора, т/м^3.

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.

Диоксид хлора получают непосредственно на водоочистной станции хлорированием хлорита натрия $NaClO_2$:

$$2NaClO_2 + Cl_2 \rightarrow 2ClO_2 + 2NaCl \quad (7.7)$$

Вместо хлора можно для получения ClO_2 также использовать озон или соляную кислоту

$$2NaClO_2 + O_3 + H_2O \rightarrow 2ClO_2 + 2NaOH + O_2; \quad (7.8)$$

$$5NaClO_2 + 4HCl \rightarrow 4ClO_2 + 5NaCl + 2H_2O, \quad (7.9)$$

ClO_2 является ядовитым, взрывоопасным газом с интенсивным запахом, водный раствор ClO_2 практически безопасен. По сравнению с Cl_2 двуокись хлора имеет ряд преимуществ — более высокая бактерицидность в щелочной среде, более активно окисляет органические вещества, может разлагать фенолы, не придавая при этом воде хлорфенольного запаха, наличие в воде аммиака не снижает эффективности ClO_2.

Хлорирование воды гипохлоритом натрия. На водоочистных станциях, где суточный расход хлора не превышает 50 кг, где транспортировка, хранение и подготовка токсичного хлора связаны с трудностями, можно для хлорирования воды использовать гипохлорит натрия NaClO. Данный реагент получают на станции в процессе электролиза раствора поваренной соли. Электролизная установка состоит из бака концентрированного раствора соли (растворного бака), электролизной ванны (электролизера), бака-накопителя раствора гипохлорита, выпрямителя и блока управления.

Растворных баков должно быть не менее двух, их суммарный объем должен обеспечить бесперебойную работу установки в течение 24 ч. При мокром хранении соли объем растворных баков принимается из расчета 1,5 $м^3$ на 1 т соли. Допускается хранение соли на складе в сухом виде, причем толщина слоя соли не должна превышать 2 м.

В растворном баке изготовляется раствор, близкий к насыщенному — 200 ... 310 г/л. Для перемешивания применяют механические устройства и циркуляционные насосы.

Электролизеры могут быть проточного или непроточного типа. Наиболее широко используют последние. Они представляют собой ванну с установленным там пакетом пластинчатых электродов. Электроды, как правило графит, присоединенные в сеть постоянного тока.

В электролизной ванне происходит диссоциация соли $NaCl \rightarrow Na^+ + Cl^-$ также $H_2O \rightarrow OH^+ - OH^-$. При включении электролизера в сеть на аноде будет происходить окисление хлоридов $2Cl^- - 2e \rightarrow Cl_2$, затем их гидролиз $Cl_2 + H_2O \rightarrow HClO + HCl$. На катоде выделяется газ H_2, образуется едкий натр $Na^+ +$

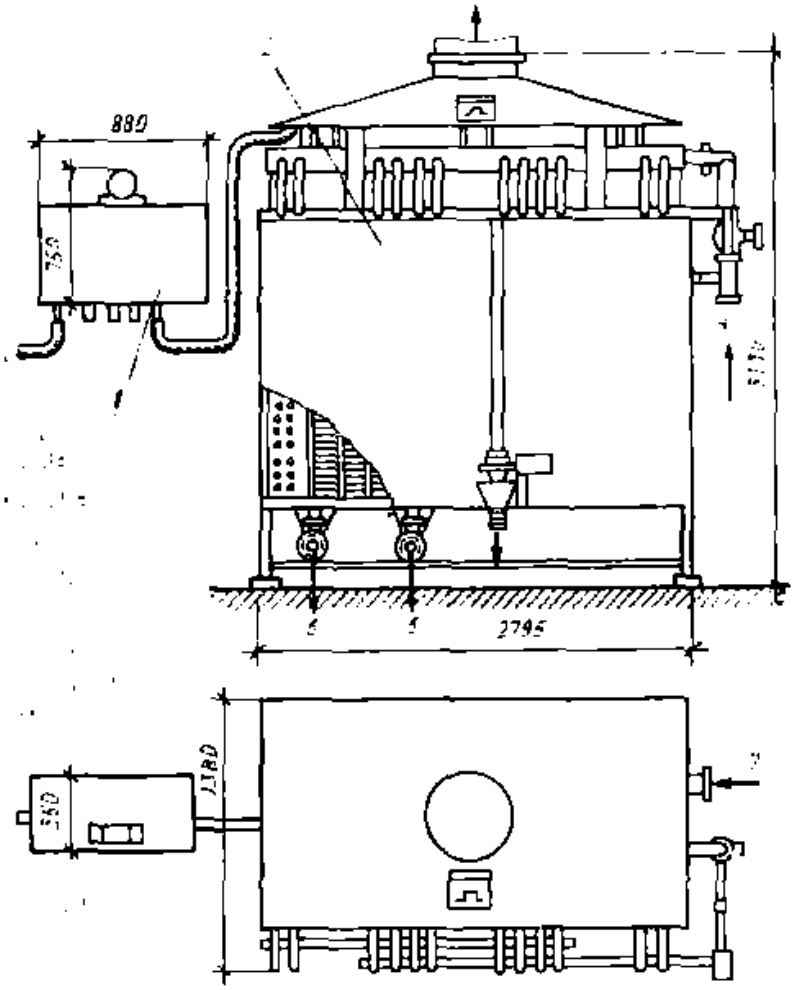


Рис. 7.3. Электролизер марки ЭН-100:
1 — шкаф управления; 2 — корпус электролизера; 3 — зонт вытяжной вентиляции; 4 — подвод охлаждающей воды; 5 — слив осадка; 6 — слив раствора гипохлорита натрия; 7 — подача рассола

$+ OH^- \rightarrow NaOH$. В результате реакции NaOH с HClO образуется гипохлорит

$$NaOH + HClO \rightarrow NaClO + H_2O. \qquad (7.10)$$

В межэлектродном пространстве электролизера непроточного типа плотность электролита в результате его насыщения пузырьками газа будет меньше, чем в остальном объеме ванны, поэтому будет происходить циркуляция раствора — между электродами восходящее, в остальной ванне нисходящее течение электролита. Циркуляция продолжится до полного электролиза всего раствора поваренной соли. Затем электролизная 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, воздержаться от перемешивания электролита в ванне.

В СНГ серийно изготовляются электролизеры непроточного типа марки ЭВ (рис. 7.3, табл. 7.1). 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.

Таблица 7.1. **Показатели электролизных установок**

Показатели	ЭН-1	ЭН-5	ЭН-25	ЭН-100
Производительность NaClO, кг/сут	1	5	25	100
Удельный расход соли NaCl, кг/сут	12...15	12...15	8...9	8...9
Продолжительность цикла работы, ч	0,75...1,0	8...9	10...12	5...6
Число циклов работы в сутки	2...4	2	2	4
Концентрация в растворе, г/л	5...7	6...8	10...12	10...12
Напряжение, В	40...42	40...42	55...65	220...230
Сила тока, А	55...65	55...65	130...140	400...450
Удельный расход электроэнергии, кВт.ч/кг	7...9	7...9	8...10	10...12
Объем электролизной ванны, $м^3$	0,04	0,04	1,0	2,9
Масса электролизера, кг	43	55	185	950
Объем бака-накопителя раствора гипохлорита, $м^3$	0,4	0,4	1,0	-
Объем бака рассола, $м^3$	1,5	1,5	1,5	-

Концентрация рабочего раствора соли в электролизной ванне принимается 100 ... 120 г/л, высотное расположение электролизера должно обеспечить поступление раствора NaClO в бак-накопитель самотеком. Бак-накопитель размещают в вентилируемом помещении, дозировка раствора гипохлорита в воду происходит эжектором, насос-дозатором или другим устройством для подачи растворов и суспензии.

Хлорирование воды прямым электролизом. Для электролитического изготовления бактерицидного хлора можно использовать хлоридные ионы, имеющиеся в самой природной воде. Метод называется прямым электролизом, разработана соответствующая установка «Поток» (рис. 7.4). Применение установки возможно при содержании в воде хлоридов не менее 20 мг/л и общей жесткости не более 7 мг-экв/л.

Установка «Поток» состоит из вертикального электролизера, который на фланцах присоединяется к трубопроводу обрабатываемой воды. Движение воды — снизу вверх. Кроме того, имеется блок питания и замкнутая система кислоты, предназначенная для смыва с электродов карбонатной пленки. В систему входят бак и кислотостойкий насос. Размеры электролизера 990 x 815 x 1590 мм,

давление в рабочей камере — не более 0,5 МПа, номинальная мощность 7,6 кВт·ч, производительность 15 ... 150 м³/ч.

Основной проблемой является образование карбонатной пленки на поверхности электродов, что значительно снижает срок стабильной непрерывной работы установки. Для смыва пленки применяется 3%-ный раствор HCl.

Если жесткость обрабатываемой воды не более 3 ... 4 мг-экв/л, рекомендуется направлять всю воду через электролизер; при жесткости 10 ... 12 мг-экв/л — 10 ... 12% воды, которая затем перемешивается с остальным потоком.

Перехлорирование и дехлорирование, с аммонизацией. Хлорирование воды с повышенными дозами перед очистными сооружениями называют перехлорированием. Метод применяется в условиях, когда микробиологические свойства воды быстро и в больших пределах меняются, а также при высокой цветности природной воды, большом содержании в воде органических веществ и планктона. Перехлорирование используют в системах технического водоснабжения как средство против образования биологической пленки. Целесообразность применения перехлорирования в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения необходимо решить на основе технологических исследований и анализов. При этом надо особо принимать во внимание возможность образования хлорорганических соединений (тригалогенметанов). Это результат хлорирования воды, содержащей много органический веществ. Тригалогенметаны (хлороформ $CHCl_3$ и другие соединения) — канцерогенные вещества, содержание которых в питьевой воде во многих странах нормируется стандартом. В частности, Всемирная ассоциация здравоохранения рекомендует норму 30 мг/л. Для предотвращения образования хлорорганических веществ при подготовке хозяйственно-питьевых вод рекомендуется отказаться от введения хлора до очистных сооружений (первичное хлорирование), заменить Cl на ClO_2 или O_3, использовать окислители в комбинации с сорбентами. Например, по схеме: O_3 — активный уголь — вторичное хлорирование.

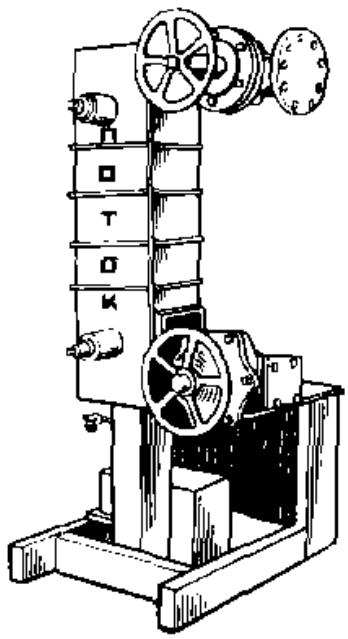


Рис. 7.4. Установка «Поток»

Для обеспечения требуемого содержания в воде остаточного хлора после перехлорирования, а также в других случаях необходимо воду дехлорировать. С этой целью применяют физические и химические способы.

При физических способах избыток активного хлора выделяется из воды сорбентами или аэрированием. Используют угольные

фильтры толщиной слоя угля 2,5 м при скорости фильтрования 20 ... 25 м/ч. Аэрирование дает положительные результаты при pH<5 и небольшом количестве удаляемого хлора. Поскольку многие соединения хлора не улетучиваются, эффективность аэрирования низка.

При химическом дехлорировании избыточный активный хлор связывается с сульфитом натрия или двуокисью серы:

$$2Cl_2 + Na_2SO_3 + 2H_2O \rightarrow 2HCl + H_2SO_4 + 2NaCl; \quad (7.11)$$

$$Cl_2 + SO_2 + 2H_2O \rightarrow 2HCl + H_2SO_4 \quad (7.12)$$

Как известно, хлорамины по сравнению с молекулярным хлором органолептически менее ощутимы, их действие более долговременное, при наличии в воде фенолов они не образуют хлорфенольных запахов. С этой целью иногда целесообразно хлорировать с аммонизацией, т. е. подать в воду дополнительно к хлору аммиак. Технология аммонизации воды аналогична хлорированию жидким хлором. NH_3 также прибывает на станцию в баллонах в сжиженном виде. При реакции NH_3 с хлорноватистой кислотой в воде образуются моно- и дихлорамины (см. §7.2). Следует учесть, что добавкой аммиака можно сэкономить до 60% хлора, израсходованного для обеззараживания. NH_3 и Cl_2 перемешиваются в пропорции 1:4 ... 1:10.

Если цель аммонизации — предотвращение образования хлорфенольного запаха, NH_3 добавляется в воду за 2 ... 3 мин до введения хлора (преаммонизация), если цель — снижение интенсивности хлорного запаха и привкуса, а также продление бактерицидного действия хлора, то NH_3 добавляется после хлорирования (постаммонизация).

7.3. Озонирование воды

Озон (O_3) — более сильный окислитель, чем диоксид хлора или свободный хлор. В природе O_3 образуется из кислорода в верхних слоях атмосферы под действием солнечной радиации. Температура испарения озона при 0,1 МПа составит — 111,9° С, температура плавления при этом же давлении — 192,5° С. Растворимость O_3 в воде при 0° С и атмосферном давлении составит 1,09 г/л. Растворимость O_3 быстро снижается с повышением температуры и при 60° С практически равняется нулю. Масса 1 л газа — 2,144 г.

Синтетическим путем озон получают при коронном (тихом) разряде, который образуется в узком слое воздуха между электродами высокого напряжения (5 ... 29 кВ) при атмосферном давлении. Соответствующие аппараты называются генераторами озона или озонаторами. На практике применяют озонаторы двух типов —

с пластинчатыми электродами и цилиндрические озонаторы с трубчатыми электродами (рис. 7.5 и 7.6).

Коронный разряд сопровождается выделением теплоты, поэтому озонаторы должны быть оборудованы системой водяного охлаждения. Выход озона зависит от температуры воздуха, подаваемого в область коронного разряда. Поскольку с повышением температуры увеличивается распад O_3, то подаваемый воздух должен быть холодным, а также чистым и сухим. Как правило, выход озона составляет 10 ... 20% от содержания в воздухе кислорода.



Рис. 7.5. Схема трубчатого электрода с диэлектриком:

1 — трубчатый электрод с диэлектриком в виде трубки из нержавеющей стали (электрод низкого напряжения); 2 — диэлектрик из стеклянной трубки; 3 — фольга на внутренней поверхности стеклянной трубки (электрод высокого напряжения)

Озонаторная установка состоит из узла подготовки воздуха, озонатора, контактной камеры и трансформатора (рис. 7.7). Расход электроэнергии на получение озона, а тем самым себестоимость озонирования во многом зависит от подготовки воздуха. В процессе подготовки воздух очищается, сушится и охлаждается. В современных озонаторах на изготовление 1 кг O_3 расходуется 20 ... 30 кВт·ч электроэнергии, из которых на озонатор приходится 14 ... 18 кВт·ч. Необходимое количество воздуха на получение 1 кг O_3 составляет 70 ... 80 м^3.

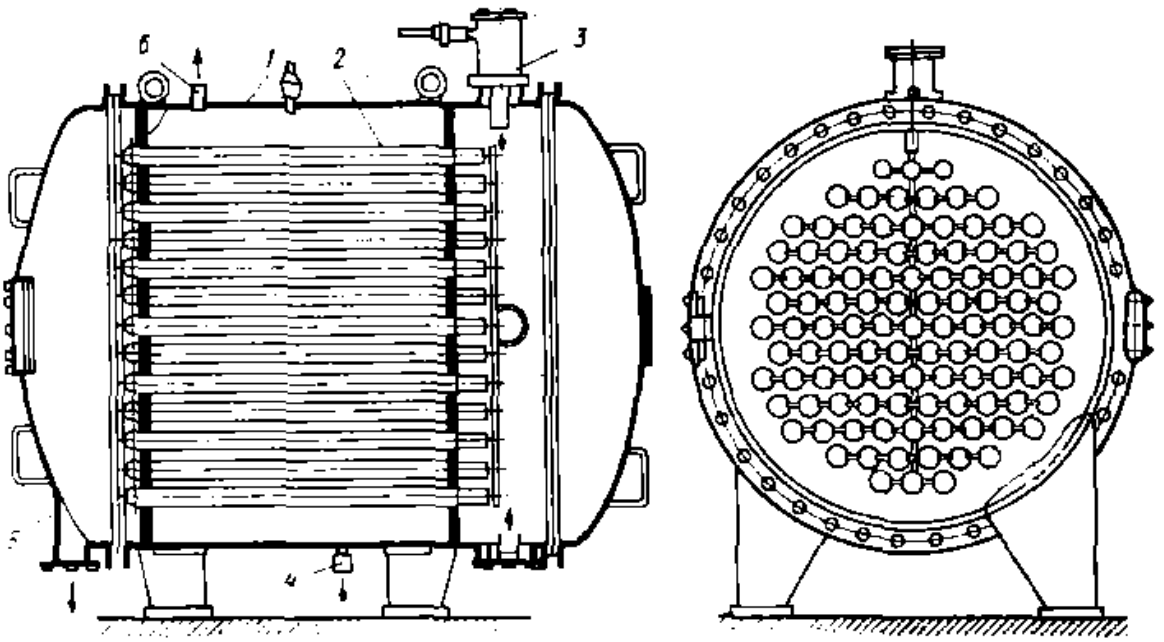


Рис. 7.6. Схема цилиндрического озонатора:

1 — корпус; 2 — диэлектрики; 3 — подача воздуха; 4 — подача охлаждающей воды; 5 — отвод озоновоздушной смеси, 6 — отвод охлаждающей воды

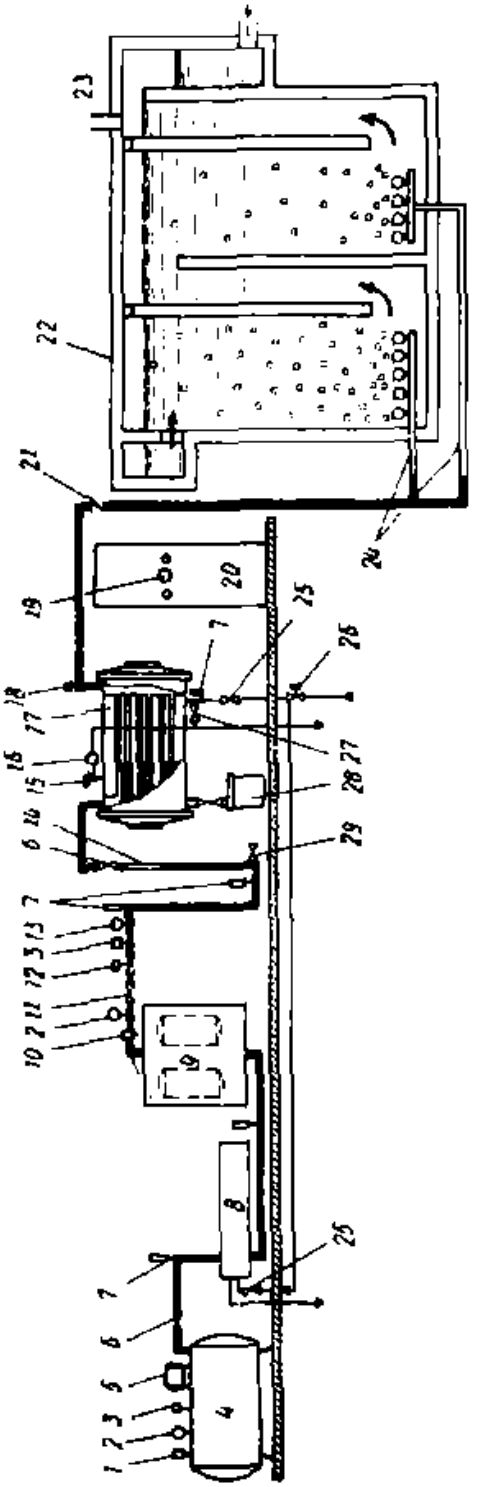


Рис. 7.7. Схема озонаторной установки с подготовкой воздуха в одну стадию:
1 — калориферный клапан; *2* — манометр; *3* — редукционный клапан; *4* — баллон сжатого воздуха; *5* — компрессор; *6* — регулированный вентиль; *7* — термометр; *8* — теплообменник с водяным охлаждением; *9* — автоматическая сушилка с адсорбентом; *10* — расширительный клапан; *11* — вентиль выключения озонатора; *12* — электромагнитная задвижка; *13* — гигрометр; *14* — расходомер воздуха; *15* — термометр (термометр); *16* — вентиль; *17* — озонатор; *18* — пробоотборник озонированного воздуха; *19* — выключатель; *20* — электрический шкаф; *21* — контрольный вентиль; *22* — контактная камера; *23* — вентиляционное отверстие; *24* — трубки диффузора; *25* — вентильный вентиль на трубопроводе воды, охлаждающей воду; *26* — автоматическая задвижка; *27* — вентиль на трубопроводе слива; *28* — трансформатор; *29* — пробоотборник сухого воздуха

Осушение воздуха происходит в одну стадию при высоком давлении (рис. 7.7) или в две стадии при низком давлении.

В первом случае давление воздуха составляет 0,5 ... 1,0 МПа. Воздух пропускают через теплообменник с водяным охлаждением и автоматическую сушилку, представляющую собой фильтр, заполненный адсорбентом (например, активированным оксидом алюминия).

Двухстадийная сушка происходит под давлением поступающего воздуха примерно 0,07 МПа и характерна для озонаторных установок большой производительности. В данном случае между водяным теплообменником и автоматической сушилкой установлен охладитель второй ступени — фреоновая холодильная установка.

Озонирование воды заключается в ее перемешивании с озоновоздушной смесью в контактных камерах при времени контакта 5 ... 20 мин. O_3 относится к малорастворимым газам, поэтому технология диспергирования озоновоздушной смеси в воду и конструкция контактной камеры имеют большое значение для эффективного использования и снижения потерь озона. Способы диспергирования озоновоздушной смеси можно классифицировать в

три группы: подача газа в контактные колонны через пористые плиты (трубы) или перфорированные трубы; использование эжекторов; применение механических турбин и прочих диспергирующих устройств механического действия. Наиболее широко применяют способы первой группы, причем контактные колонны обычно противоточного типа — обрабатываемая вода подается сверху вниз, озон снизу вверх.

Озон является универсальным реагентом, поскольку может быть использован для обеззараживания, обесцвечивания, дезодорации воды, для удаления железа и марганца. Озон разрушает соединения, *не подчиняющиеся воздействию хлора (фенолы). O_3 не придает воде* запаха и привкуса. При этом он обладает сильными коррозионными свойствами, токсичен. Допустимое содержание O_3 в воздухе помещений 0,0001 мг/л. Озон может разрушать некоторые органические вещества, не окисляя их до конца. В результате в трубопроводе озонированной воды может повышаться интенсивность бактериальной жизнедеятельности. Главный недостаток озона — кратковременность действия, отсутствие остаточного озона. Поэтому O_3, первоначально использованный вместо хлора для обеззараживания воды и подаваемый в воду в конце технологической схемы, все чаще используется как вещество для очистки воды.

В таком случае озон подается в воду до основных очистных сооружений, причем обеззараживание выполняется либо только хлором, либо воду хлорируют после обеззараживания озоном для образования в воде требуемого остаточного хлора.

Эффективность озонирования зависит от количества и свойств загрязняющих воду веществ, от дозы O_3, температуры и pH воды, от применяемого метода диспергирования озоновоздушной смеси в воду.

Доза O_3 и оптимальная схема озонирования определяются на основе предварительных технологических исследований. При отсутствии соответствующих данных СНиП рекомендует для озонирования подземных вод принимать дозу O_3 0,75 ... 1,0 мг/л, для озонирования профильтрованных вод — 1 ... 3 мг/л.

Озонирование используется и для доочистки сточных вод. При *этом расчетная доза O_3* принимается 2 ... 4 мг на 1 мг загрязнителя (нефтепродуктов, фенолов, ПАВ).

При доочистке биологически очищенных городских сточных вод с дозой O_3 20 мг/л ХПК снижается на 40%, $БПК_5$ на 60 ... 70%, ПАВ на 90%, окраска воды на 60%. Одновременно происходит обеззараживание воды.

В мировой практике наибольшую известность и распространение получили французские озонаторы фирмы «Трейлигаз». В табл. 7.2 приведена характеристика озонаторов, разработанных филиалом института ЛенНИИхиммаш.

Таблица 7.2. Технические характеристики озонаторов филиала ЛенНИИхиммаш

Параметры	Марка озонатора		
	В-085-08-1-Л-0,1	В-24-25-1-1-Л-0,1	В-175-165-1-Л-0,1
Производительность по озону, кг/ч	0,045	1,6	7,5
Концентрация озона в озоновоздушной смеси, г/м^3	20	20	20
Расход воздуха, м^3/ч	6	120	380
Мощность, кВт	0,8	25	160
Частота тока, Гц	50	50	50

7.4. Обеззараживание воды в бактерицидных установках

Ультрафиолетовые лучи длиной волн 220 ... 280 нм действуют на бактерии губительно, причем максимум бактерицидного действия соответствует длине волн 260 нм. Данное обстоятельство используется в бактерицидных установках, предназначенных для обеззараживания в основном подземных вод. Источником ультрафиолетовых лучей является ртутно-аргонная или ртутно-кварцевая лампа, устанавливаемая в кварцевом чехле в центре металлического корпуса (рис. 7.8). Чехол защищает лампу от контакта с водой, но свободно пропускает ультрафиолетовые лучи.

Обеззараживание происходит во время протекания воды в пространстве между корпусом и чехлом при непосредственном воздействии ультрафиолетовых лучей на микробы. Поэтому наличие в воде взвешенных веществ, поглощающих световое излучение, снижает эффективность обеззараживания. Необходима также постоянная чистка наружной поверхности кварцевого чехла от осаждающегося осадка. Для этого имеются продольные щетки, которые приводятся во вращение турбиной.

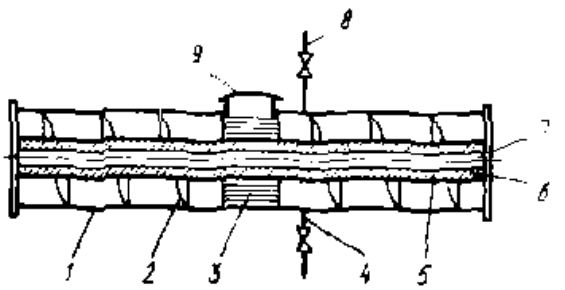


Рис. 7.8. Схема камеры облучения бактерицидных установок ОВ-50 и ОВ-150

1 — корпус; 2 — спираль; 3 — турбина, приводящая щетку во вращение; 4 — опорожнение; 5 — щетка; 6 — кварцевый чехол; 7 — лампа; 8 — воздухораспределитель; 9 — смотровой глаз

Ультрафиолетовое излучение действует мгновенно, поэтому контактные бассейны не нужны. В то же время излучение не придает воде остаточных бактерицидных свойств, а также запаха или привкусов. Бактерицидная установка не нуждается в реагентах, она компактна, управление ее работой можно легко автоматизировать.

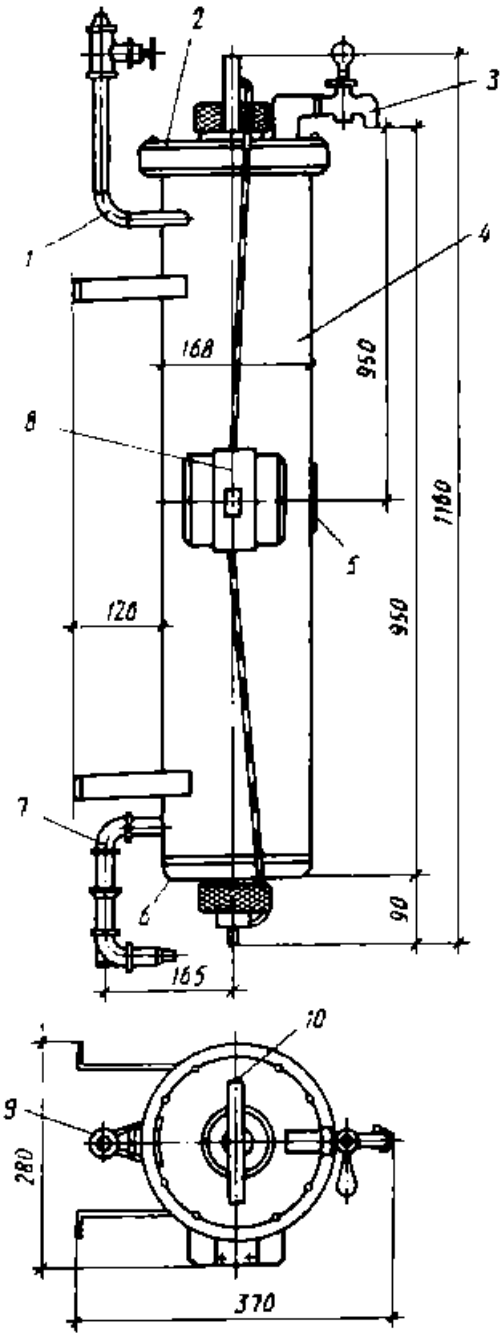


Рис. 7.9. Бактерицидная установка ОВ-1П:
1 — выходной патрубок; 2 — верхняя съемная крышка; 3 — верхний спускной кран (воздухоотделитель); 4 — корпус; 5 — смотровой глаз; 6 — нижняя съемная крышка. 7 — входной патрубок; 8 — пусковая аппаратура; 9 — опорожнение; 10 — рукоятка

В СНГ серийно выпускаются бактерицидные установки ОВ-1П, ОВ-50 и ОВ-150 (табл. 7.3). Установки состоят из камеры облучения, пускового устройства и электрической сигнализационно-контрольной системы.

Бактерицидная установка ОВ-1П (рис. 7.9) крепится в вертикальном положении на стене, ОВ-50 и ОВ-150 (рис. 7.10) устанавливаются на полу в горизонтальном положении. В установке ОВ-1П пускатель прикреплен к корпусу, турбина отсутствует, чистка кварцевого чехла производится периодическим возвратно-поступательным движением рукоятки.

Для увеличения пропускной способности допускается параллельное включение до пяти установок при одной установке в резерве.

Для запуска установки камеру заполняют водой и включают лампу. Через 10 ... 15 мин открывают задвижки на трубопроводах обработанной и поступающей воды. Работа лампы проверяется визуально через смотровой глаз, для большей надежности эксплуатации целесообразно использовать систему световой или звуковой сигнализации, выведенной в помещение дежурной службы.

Таблица 7.3. **Показатели бактерицидных установок**

Показатели	Марка бактерицидной установки		
	ОВ-1П	ОВ-50	ОВ-150
Производительность, $м^3/ч$	3...5	50...75	150...200
Число рабочих камер	1	1	3
Давление в камере, МПа	1	1	1

Продолжение табл. 7.3

Показатели	Марка бактерицидной установки		
	ОВ-1П	ОВ-50	ОВ-150
Потери напора в установке, м	0,2...0,35	0,55...1,25	0,6...1,3
Рабочее положение установки	Любое	Горизонтальное	
Тип лампы	ДБ-60	ДРТ-2500	
Мощность лампы, Вт	60	2500	2500
Суммарная потребляемая мощность, кВт	0,06	2,5	7,5
Напряжение сети, В	220	220	220
Напряжение на лампе в рабочем положении, В	88 ± 2	850 ± 100	850 ± 100
Ток на лампе в рабочем режиме, А	0,65 ± 0,05	3,4 ± 0,3	3,4 ± 0,3
Расчетный бактерицидный поток, Вт	3,9	60	60

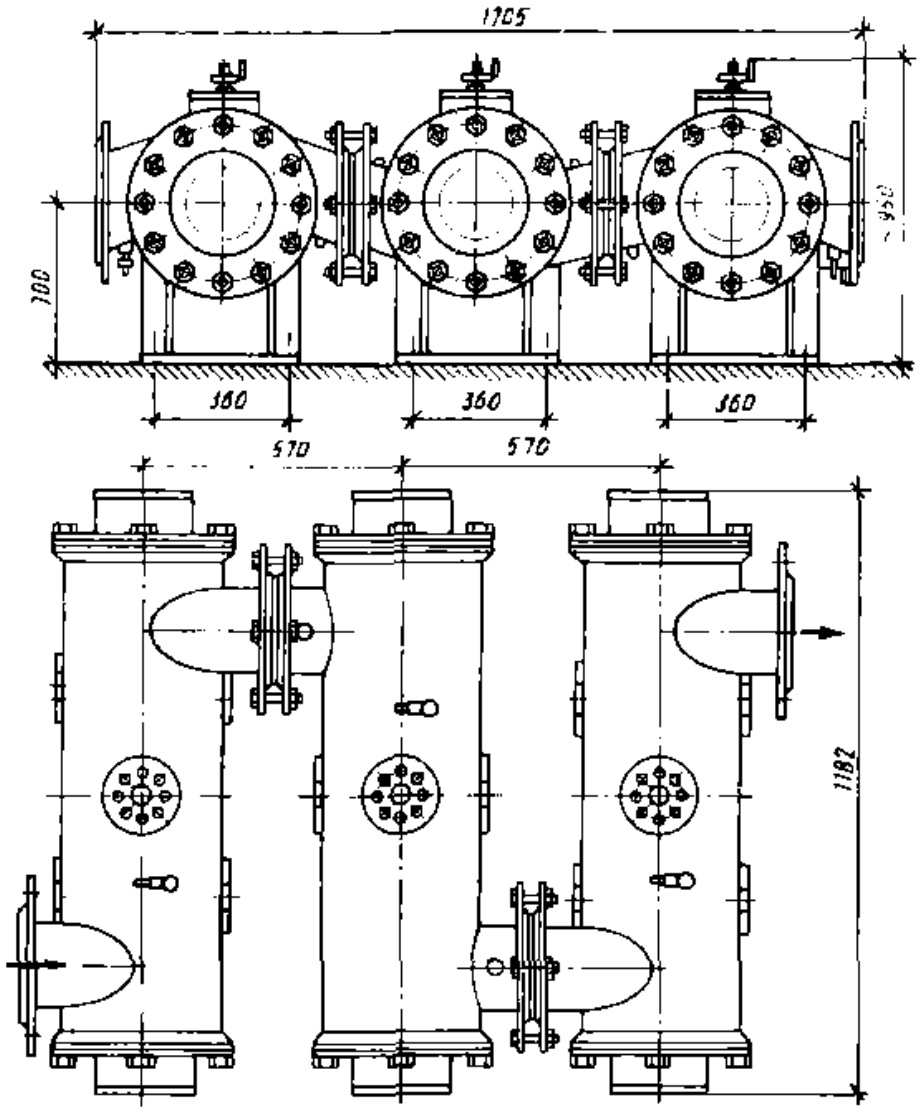


Рис. 7.10. Бактерицидная установка ОВ-150

7.5. Применение окислителей и сорбентов для дезодорации воды и удаления токсичных веществ

По мере общего ухудшения качества природных вод все больше приходится заниматься удалением веществ, придающих воде привкусы и запахи, а также токсичных веществ.

Как известно, мутность воды обусловлена содержанием нерастворенных, прежде всего грубодисперсных минеральных примесей; цветность — содержанием минеральных и органических соединений, причем главную роль играют коллоиды органического происхождения, планктон и другие вещества. Появление в воде привкусов и запахов вызывают минеральные растворенные и коллоидные вещества (сероводород, хлор, железо), а также органические соединения. К последним относятся продукты биологических процессов, происходящих в самих водоемах, вещества, поступающие в водоемы в результате смыва почв и со сточными водами. В результате смыва с полей ядохимикатов и размыва промышленно загрязненных почв, а также со сточными водами в водоемы попадают токсичные вещества.

Выбор метода дезодорации воды зависит от происхождения запахов и привкусов. Если причиной являются минеральные растворенные и коллоидные вещества, проблема решается деминерализацией, обезжелезиванием, дегазацией воды. Однако основной вопрос дезодорации — вопрос удаления из воды растворенных органических веществ. Это требует специальной обработки воды. С данной проблемой тесно связана проблема удаления из воды токсичных веществ, находящихся там, как правило, в микроконцентрациях.

В настоящее время находят применение в основном методы окисления и сорбции, причем хорошие результаты дает их комбинирование (окислительно-сорбционный метод).

Из окислителей широко используют хлор и хлорсодержащие реагенты, озон, перманганат калия. Выбор реагента, его дозы и схемы реагентной обработки следует решить на основе технологических исследований. Ориентировочно можно дозу окислителя определить исходя из перманганатной окисляемости воды согласно табл. 7.4.

Таблица 7.4. Определение необходимой дозы окислителя для дезодорации воды

Перманганатная окисляемость воды, *мг O_2/л*	Доза окислителя, мг/л		
	хлор	перманганат калия	озон
8...10	4...8	2...4	1...3
10...15	8...12	4...6	3...5
15...25	12...14	6...10	5...8

Как правило, окислители разрушают органическое вещество и органолептически менее ощутимые, а также менее токсичные соединения. Но имеются и такие вещества, например некоторые фосфорорганические пестициды, при которых неполное окисление обусловит усиление запахов и привкусов и образование токсичных веществ.

Наиболее распространенным и дешевым *окислителем является* хлор, при котором, однако, надо учесть возможность появления в воде запаха и привкуса хлора, а также нежелательных соединений (хлорфенолы).

O_3 и $KMnO_4$ — сильные окислители, они не придают воде *дополнительных запахов и привкусов. При* $KMnO_4$ необходимо принимать во внимание высокую цену и дефицитность реагента. Кроме того, требуется высокая точность дозировки, чтобы исключить опасность попадания в очищенную воду остаточного марганца (допустимая концентрация всего 0,1 мг/л). Озон, как было сказано, может в результате неполного окисления органических веществ вызвать интенсификацию *бактериальной жизнедеятельности* в воде *после очистных сооружений.*

Учитывая вышеупомянутые трудности, применение сорбентов для удаления из воды растворенных органических веществ и токсичных соединений является более предпочтительным методом. Их большое преимущество в том, что они не разрушают вещества, *поэтому отпадает опасность появления нежелательных продуктов* деструкции. Особенно эффективно связывать с сорбентами гидрофобные соединения, например, фенолы и другие слабые органические электролиты. Лучше сорбируются при этом вещества в молекулярном виде, хуже — ионы.

В водоподготовке в качестве сорбента *применяются* активные *угли, получаемые путем активации углеродсодержащих материалов* (каменные угли, антрацит, торф, промышленные отходы). Активация заключается в термохимической обработке дробленого и отсортированного материала, в результате чего улетучивающиеся компоненты удаляются, материал уплотняется и приобретает микропористую структуру. *Существуют* два способа сорбционной обработки — *добавка активного угля в виде реагента (углевание воды) и* фильтрование воды через слой гранулированного, зернистого сорбента в сорбционных фильтрах.

Для углевания воды необходимо иметь бак с механическим или гидравлическим перемешиванием, в котором происходит замачивание угля в течение 1 ч. Изготовленную угольную пульпу концентрацией 8% подают в воду *перед очистными сооружениями* за 10 мин до *ввода коагулянта.* Доза угля перед фильтрами не должна превышать 5 мг/л. Применяют в основном активные угли марки БАУ и ОУ.

Подготовка угля сложная, трудоемкая и загрязняющая окружение операция. Во избежание загрязнения очищенной воды остаточными концентрациями угля требуется большая точность дозировки.

Поэтому более целесообразно использовать сорбционные фильтры в конце технологической схемы после осветлительных фильтров. В качестве загрузки используют прежде всего активные угли АГ-3 и АГ-М. Сорбционные фильтры, как правило, напорные, толщину загрузки принимают исходя из скорости фильтрования (10 ... 15 м/ч) и времени пребывания воды в угольной загрузке (10 ... 15 мин).

Для периодической водяной промывки сорбционных фильтров можно исходить из рекомендации табл. 7.5.

Основной технической проблемой, связанной с применением сорбционных фильтров, является вопрос восстановления сорбционной емкости фильтров. Для этого применяют химические, термические или биологические методы, требующие выгрузки материала из фильтра.

Таблица 7.5. Параметры промывки угольных фильтров

Марка угля	Относительное расширение загрузки, %	Интенсивность промывки, $л/с \cdot м^2$	Продолжительность промывки, мин
АГ-3	25	12...14	7...8
	35	14...16	6...7
	45	16...18	5...6
	30	8...9	10...12
АГ-М	45	9...10	8...10
	60	11...12	7...8

Химический метод заключается в продувке слоя угля острым паром с последующей обработкой щелочью; при термической регенерации адсорбированные органические вещества выжигаются в специальных печах при температуре 800 ... 900° С; восстановление сорбционной емкости угля может также происходить с использованием микробов. До настоящего времени не существует надежного и дешевого метода регенерации углей, что увеличивает расход свежего материала и повышает себестоимость процесса.

ГЛАВА 8

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВОДООЧИСТНЫХ КОМПЛЕКСОВ

8.1. Технологические схемы водоочистных станций

Проектирование водоочистной станции начинается с выбора технологической схемы (совокупность применяемых для обработки воды сооружений и технологических операций). Ввиду разных

требований к качеству воды и разных свойств воды в водоочистнике существует большое количество возможных технологических схем, которые можно классифицировать на реагентные и безреагентные, напорные и безнапорные, на технологические схемы для полной и частичной (грубой) очистки, на одно-, двух- и многоступенчатые схемы.

Безреагентные схемы очистки поверхностных и оборотных вод применяют главным образом в техническом водоснабжении, когда не требуется качество питьевой воды (частичная очистка). Безреагентные схемы более просты в эксплуатации, чем реагентные, однако значительно превосходят их в строительной стоимости ввиду больших размеров сооружений.

Для полной очистки поверхностных вод почти без исключений применяют реагентные схемы (рис. 8.1.). С использованием реагентов процесс очистки воды протекает быстрее и эффективнее, соответственно уменьшается необходимый объем сооружений.

На больших водоочистных станциях движение воды от сооружения к сооружению до резервуара чистой воды происходит самотеком (рис. 8.1). Такие схемы называют безнапорными, их применение предполагает установку сооружений на разных высотных отметках. Разность уровней зеркала воды в сооружениях определяется исходя из условия преодоления гидравлического сопротивления в самих сооружениях и коммуникациях при расчетном расходе очищаемой воды. Это означает необходимость построения высотной схемы водоочистной станции.

В напорных схемах (см. рис. 8.4) движение воды происходит под избыточным давлением, создаваемым насосами первого подъема. Это позволяет устанавливать все сооружения на одной высотной отметке. Высота подъема насосов первого подъема, как правило, подбирается такой, чтобы обеспечить подачу очищенной воды в водонапорную башню или в сеть без дополнительных насосов второго подъема.

В напорных схемах все сооружения являются герметичными емкостями.

Технологические схемы, предназначенные для подготовки воды питьевого качества, называются схемами полной очистки. Следовательно, *схемы частичной или грубой очистки воды могут быть* использованы только для подготовки технических вод.

Если подготовка воды осуществляется в основных сооружениях одного типа (например, только фильтры, только контактные осветлители), то такая технологическая схема называется одноступенчатой. При последовательном использовании разных очистных сооружений схема является двух-, трех- или более ступенчатой. Двухступенчатой является технологическая схема и в том случае, если один технологический процесс применяется дважды (двухступенчатое фильтрование).

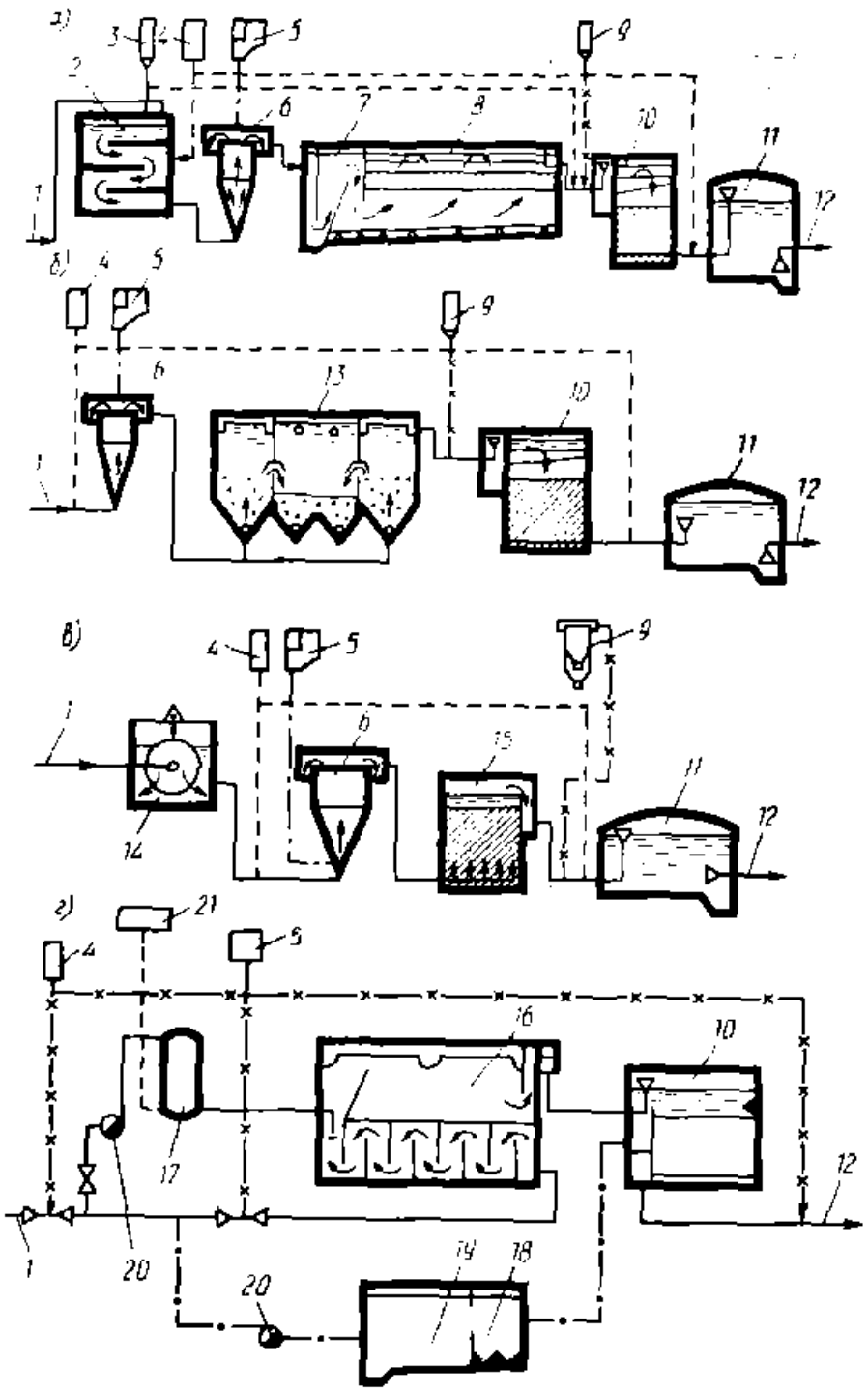


Рис. 8.1. Реагентные схемы очистки поверхностных вод:

а — с отстойниками; б — с осветлителями со взвешенным осадком; в — с контактными осветлителями; г — с
хлораторами; 1 — подача исходной воды; 2 — контактный резервуар; 3 — установка для углевания воды; 4 —
хлораторная; 5 — баки коагулянта; 6 — вертикальный смеситель; 7 — камера хлопьеобразования; 8 — горизон-
тальный отстойник с тонкослойными блоками; 9 — фтораторная установка; 10 — скорый фильтр; 11 — резервуар
чистой воды; 12 — отвод очищенной воды; 13 — осветлитель со взвешенным осадком; 14 — микрофильтр; 15 —
контактный осветлитель; 16 — фторатор; 17 — напорный бак; 18 — песколовка; 19 — резервуар-усреднитель; 20 —
насос; 21 — компрессор

8.2. Выбор технологической схемы водоочистной станции хозяйственно-питьевого назначения

Технологическая схема выбирается исходя из производительности станции, свойств поступающей воды, требований к качеству очищенной воды и технико-экономических соображений. При этом учитываются опыт эксплуатации станции в аналогичных условиях и результаты предварительных технологических исследований. По возможности следует пользоваться типовыми проектами.

Прежде всего определяется полный расход воды, поступающей на станцию, м^3/сут,

$$Q_{\text{П}} = \alpha Q_{\text{max сут}} + Q_{\text{доп}}, \qquad (8.1)$$

где α — коэффициент, учитывающий расход воды на собственные нужды станции и зависящий в основном от промывки фильтров. При повторном использовании промывных вод фильтров $\alpha = 1{,}03 \ldots 1{,}09$, без повторного использования $\alpha = 1{,}1 \ldots 1{,}14$. По СНиП 2.04.02—84 повторное использование промывных вод фильтров и вод от обезвоживания и складирования осадков обязательно; $Q_{\text{доп}}$ — дополнительный расход воды на восполнение противопожарного запаса, м^3/сут,

$$Q_{\text{доп}} = 3{,}6 t_{\text{пож}} (n_1 q_1 + n_2 q_2), \qquad (8.2)$$

где $t_{\text{пож}}$ — расчетная продолжительность пожара, ч; n_1, n_2 — количество одновременных пожаров в населенном пункте и в производстве; q_1 и q_2 — норма расхода воды при пожаре. $t_{\text{пож}}$, n_1, n_2, q_1, q_2 принимают по СНиПу. При расчете по формуле (8.2) время восполнения противопожарного запаса воды принимается равными 24 ч. В тех случаях, когда СНиП допускает больший срок восполнения, $Q_{\text{доп}}$ следует соответственно уменьшить.

Полезной производительностью водоочистной станции, м^3/сут, называется расход

$$Q_{\text{пол}} = Q_{\text{max сут}} + Q_{\text{доп}}. \qquad (8.3)$$

Водоочистные станции полной производительностью свыше 5000 м^3/сут рассчитывают на равномерную работу в течение суток максимального водопотребления. Коммуникации станции должны пропускать расход воды на 20 ... 30% больше расчетного.

Для подготовки хозяйственно-питьевых вод из поверхностных вод применяют одно- или двухступенчатые реагентные схемы (см. рис. 8.1). Только при условии применения медленных фильтров допускается строить системы централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения по безреагентной схеме (на базе поверхностных вод).

Технологическую схему водоочисткой станции при осветлении и обесцвечивании воды и отсутствии результатов технологических исследований можно принимать по табл. 8.1.

Таблица 8.1. **Выбор технологической схемы водоочистной станции**

Основные очистные сооружения	Производительность станции, $м^3$/сут	Исходная вода		Очищенная вода	
		мутность, мг/л	цветность, град	мутность, мг/л	цветность, град
	Реагентные схемы				
Одноступенчатая очистка					
Скорые фильтры:					
напорные	До 5000	До 30	До 50	До 1,5	До 20
открытые	До 50 000	» 20	» 50	» 1,5	» 20
Контактные осветлители	Любая	» 120	» 120	» 1,5	» 20
Двухступенчатое фильтрование	»	» 300	»120	» 1,5	» 20
Двухступенчатая очистка					
Вертикальные отстойники, скорые фильтры	До 5000	» 1500	» 120	» 120	» 20
Горизонтальные отстойники, скорые фильтры	Более 30 000	» 1500	» 120	» 1,5	» 20
Осветлители со взвешенным осадком, скорые фильтры	Более 5000	50 ... 1500	» 120	» 1,5	» 20
Двухступенчатое отстаивание, скорые фильтры	Любая	Более 1500	» 120	» 1,5	» 20
Компактная установка «Струя»	До 800	До 1000	» 120	» 1,5	» 20
Частичная очистка воды					
Горизонтальные отстойники или осветлители	Любая	» 1500	» 120	8 ... 15	» 40
Радиальные отстойники	»	Более 1500	» 120	До 250	» 20
Грубозернистые фильтры	»	До 80	» 120	» 10	» 30
	Безреагентные схемы				
Полная очистка воды					
Медленные фильтры с сооружениями предочистки (микрофильтры или префильтры	Любая	1500	» 50	» 1,5	» 20

Продолжение табл. 8.1

Основные очистные сооружения	Производительность станции, м³/сут	Исходная вода		Очищенная вода	
		мутность, мг/л	цветность, град	мутность, мг/л	цветность, град
Частичная очистка воды					
Грубозернистые фильтры	Любая	До 150	До 120	30 ... 50% от исходной	Такая же, как исходная
Радиальные отстойники	»	Более 1500	» 120	То же	То же

Дополнительно к приведенным в табл. 8.1 очистным сооружениям требуется включение в технологическую схему микрофильтров, если «цветение» воды длится более 1 мес в году и если среднемесячное содержание планктона более 1000 клеток в 1 м³ воды.

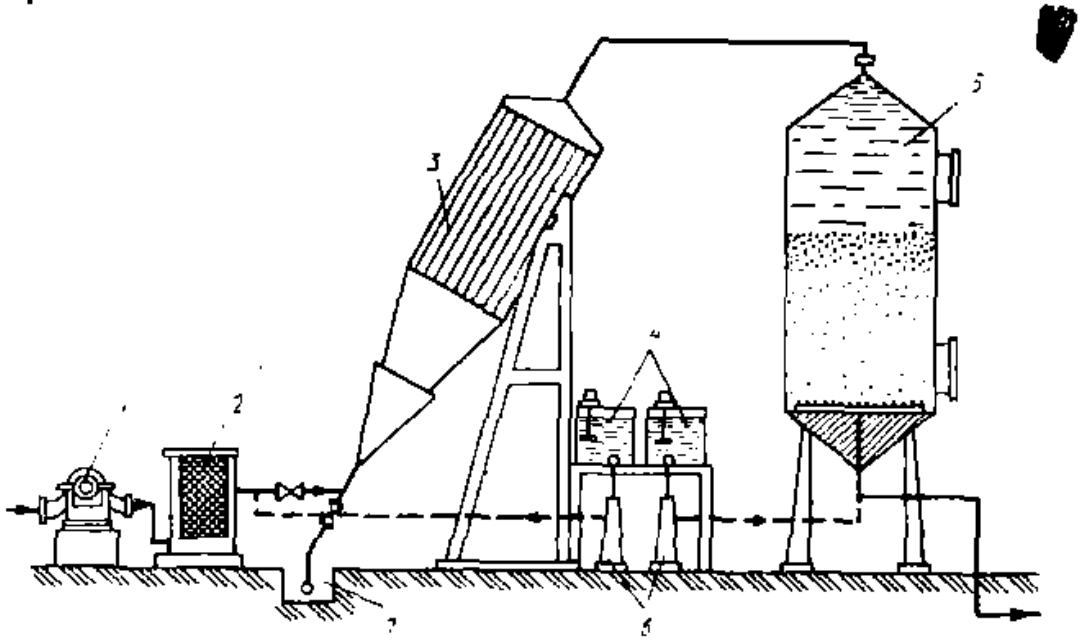


Рис. 8.2. Компактная водоочистная установка «Струя» (*вариант*):
1 — насос исходной воды; 2 — сетчатый фильтр; 3 — трубчатый отстойник; 4 — механические смесители; 5 — напорный фильтр; 6 — насосы-дозаторы; 7 — сборный канал промывных вод

В зависимости от свойств исходной воды технологическая схема водоочистной станции может от вышеприведенных значительно отличаться, особенно в тех случаях, когда в воде доминируют вещества органического происхождения, придающие воде цветность, запахи и привкусы. На рис. 8.2 приведена схема компактной водоочистной установки «Струя», предназначенной для осветления, обесцвечивания, обезжелезивания, обесфторивания и умягчения как

поверхностных, так и подземных вод. Установки «Струя» выпускают серийно производительностью 100, 200, 400 и 800 $м^3$/сут, они пригодны к применению в автономных промышленных водопроводах, в водоснабжении малых населенных пунктов.

Как показывает практика, классические технологические схемы с отстойниками и осветлителями со взвешенным осадком дают хорошие результаты в основном при очистке речных вод, в которых доминируют тяжелые грубодисперсные примеси. При очистке вод озер и водохранилищ, а также рек с малой скоростью течения воды, при очистке низкотемпературных вод более высокий эффект можно получить применением флотации, двухступенчатого фильтрования. С повышением цветности воды и общего содержания органических веществ растет роль реагентной обработки воды. Высокоэффективными, а часто и неизбежными могут стать озонирование, сорбционная обработка и другие методы.

Выбор технологической схемы только на основе информации о свойствах воды в водоисточнике не всегда позволяет разработать и внедрить наилучшую технологию водоподготовки. Для этого необходимо провести предварительные технологические исследования на воде данного водоисточника с использованием пилотных установок водоочистных сооружений.

8.3. Составление генплана

Генеральный план водоочистной станции составляют в соответствии с требованиями раздела строительных норм, касающегося разработки генпланов промышленных предприятий.

Место строительства станции должно обеспечить компактное расположение всех зданий и сооружений, минимальную длину коммуникаций и удобство эксплуатации. При этом необходимо резервировать запасные площади для расширения станции, вокруг станции должна быть возможность создания зон санитарной охраны. Необходимо учитывать высотное расположение стройплощадки, геологические и гидрогеологические условия. Если станция находится у водоема, то высотная отметка планировки площадки должна быть не менее 0,5 м выше расчетного максимального уровня воды с учетом высоты волны.

На генеральном плане обозначают все строения и сооружения, наружные коммуникации, дороги, озеленение, ограждение и место расположения проходной (рис. 8.3). По возможности все очистные сооружения, производственные и вспомогательные помещения, реагентное хозяйство целесообразно сконцентрировать под единую крышу или группировать в несколько близкорасположенных зданий.

Расходные склады хлора и аммиака располагаются в отдельных зданиях. Расстояние от них до водоисточника и производственных помещений с постоянным пребыванием людей должно быть не менее

30 м. Если хлор хранится в баллонах или контейнерах, расстояние склада от жилых и общественных зданий должно быть не менее 100 м, при хранении в танках — не менее 300 м.

На водоочистной станции должен быть узел подготовки фильтрующих материалов, в состав которого входят сооружения для их сортировки и складирования, а в случае необходимости и сооружения

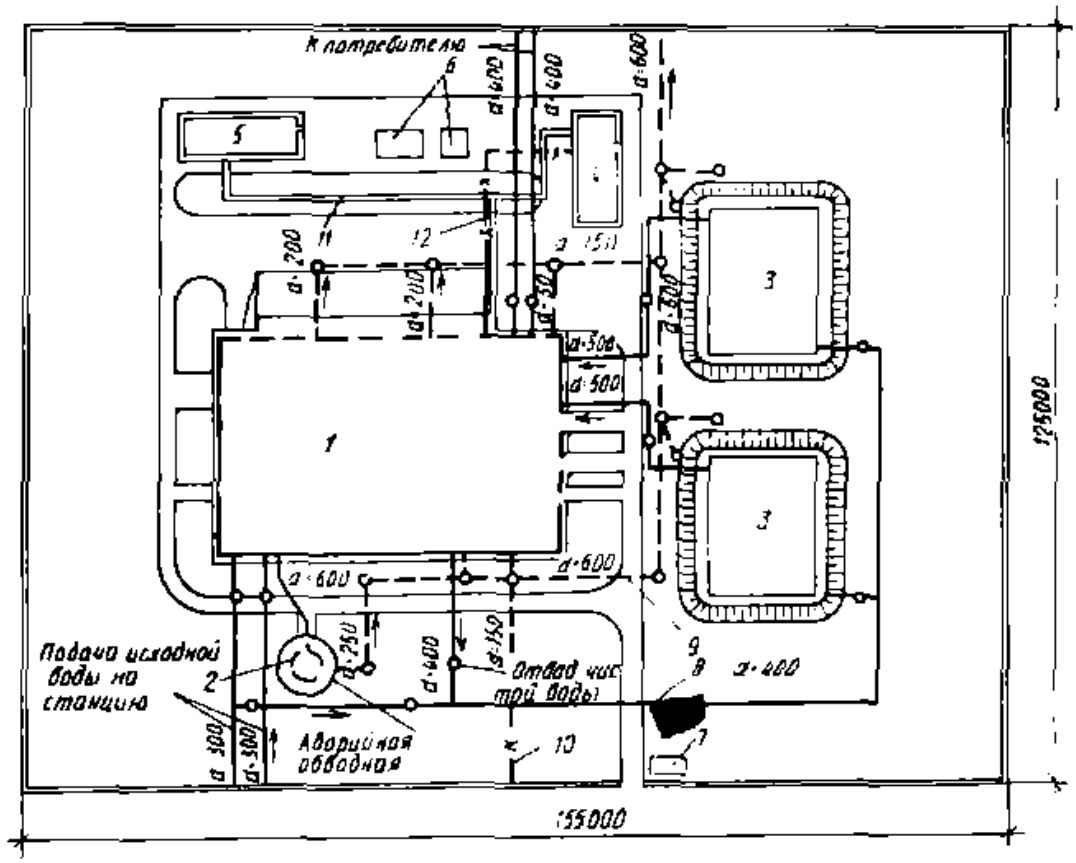


Рис. 8.3. Генплан водоочистной станции:
1 — корпус водоочистной станции; 2 — башня промывных вод фильтров; 3 — резервуары чистой воды; 4 — хлорное хозяйство; 5 — котельная; 6 — площадки для угля; 7 — проходная; 8 — трубопроводы исходной и очищенной воды; 9 — канализация; 10 — бытовая канализация; 11 — теплотрассы; 12 — хлоргаз

для дробления и рассева. На станции должен быть аварийный запас для 1 ... 2 фильтров, а также необходимый материал для замены 10% объема загрузки в год.

При благоприятных климатических условиях часть сооружений (отстойники, осветлители со взвешенным осадком, камеры хлопьеобразования, контактные бассейны хлора) целесообразно устанавливать вне здания. Образующийся ледяной покров не должен препятствовать нормальной эксплуатации сооружений. Для этого сооружения покрывают железобетонными плитами и утепляют слоем земли.

При производительности станции до 100 000 м^3/сут необходимы обводные коммуникации, позволяющие в случае необходимости выключить часть очистных сооружений.

Вокруг водоочистной станции создается зона санитарной охраны, состоящая из пояса строгого режима (1-й пояс) и санитарно-защитной полосы. Граница 1-го пояса совпадает с ограждением площадки сооружений, которое должно размещаться на расстоянии не менее 30 м от стен резервуаров фильтрованной воды и фильтровальных сооружений с открытой поверхностью и не менее 15 м — от остальных сооружений и стволов водонапорных башен.

Санитарно-защитная полоса шириной не менее 100 м применяется дополнительно к 1-му поясу в случае, если водоочистная станция находится за пределами 2-го пояса зоны санитарной охраны водоисточника.

8.4. Составление высотной схемы, компоновка очистных сооружений

Высотное расположение очистных сооружений должно обеспечить самотечное движение воды от наивысшей точки технологической схемы до резервуара чистой воды. Наивысшей точкой обычно является максимальный уровень воды в микрофильтре или в смесителе. Отметки уровня воды в сооружениях рассчитывают исходя из потерь

Таблица 8.2. Потери напора в сооружениях и конструкциях

Очистные сооружения и коммуникации	Потеря напора, м
В сооружениях	
Микрофильтры и барабанные сетки	0,4 ... 0,6
Входные камеры	0,3 ... 0,5
Смесители гидравлического типа	0,5 ... 0,6
Механические смесители	0,1 ... 0,2
Камеры хлопьеобразования	0,4 ... 0,5
Флокуляторы	0,1 ... 0,2
Отстойники	0,7 ... 0,8
Осветлители со взвешенным осадком	0,7 ... 0,8
Скорые фильтры	3 ... 3,5
Контактные осветлители	2 ... 2,5
Медленные фильтры	1,5 ... 2
В коммуникациях	
От микрофильтров или барабанных сеток до смесителей	0,2
От смесителей до отстойников, осветлителей со взвешенным осадком и контактных осветлителей	0,3 ... 0,4
От отстойников и осветлителей со взвешенным осадком до фильтров	0,5 ... 0,6
От фильтров и контактных осветлителей до резервуара чистой воды	0,5 ... 1

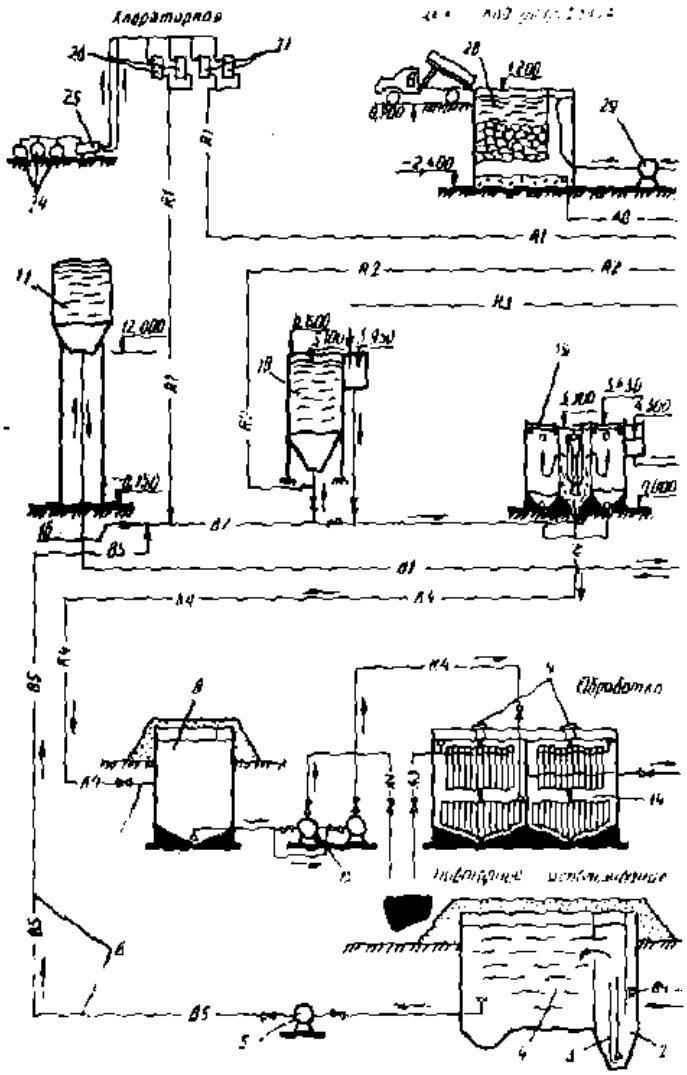


Рис. 8.4. Высотная схема водоочистной станции:

1 — промывная вода от фильтров; 2 — песколовка; 3 — гидроэлеватор; 4 — резервуар-усреднитель промывных вод фильтров; 5 — насос возврата промывных вод фильтров в смеситель; 6 — трубопровод возврата промывных вод фильтров; 7 — подача осадка от осветлителей; 8 — резервуар приема осадка; 9 — установка медленного перемешивания осадка; 10 — площадка обезвоживания осадка; 11 — колодец для выпуска осадка; 12 — насос перекачки сгущенного осадка; 13 — емкость приема осадка; 14 — осадкоуплотнитель; 15 — насосы перекачки сырого осадка; 16 — исходная вода; 17 — бак промывных вод фильтров; 18 — вихревой смеситель; 19 — осветлитель со взвешенным осадком; 20 — скорый фильтр; 21 — резервуар чистой воды; 22 — насос 2-го подъема; 23 — линия подачи промывной воды; 24 — баллоны или контейнеры с жидким хлором; 25 — испаритель; 26 — хлоратор первичного хлорирования; 27 — хлоратор вторичного хлорирования; 28 — растворный бак коагулянта; 29 — насос перекачки раствора коагулянта; 30 — расходный бак коагулянта; 31 — напоромер коагулянта; 32 — растворный бак ПАА; 33 — циркуляционный насос для растворения ПАА; 34 — расходный бак ПАА; 35 — напоромер ПАА

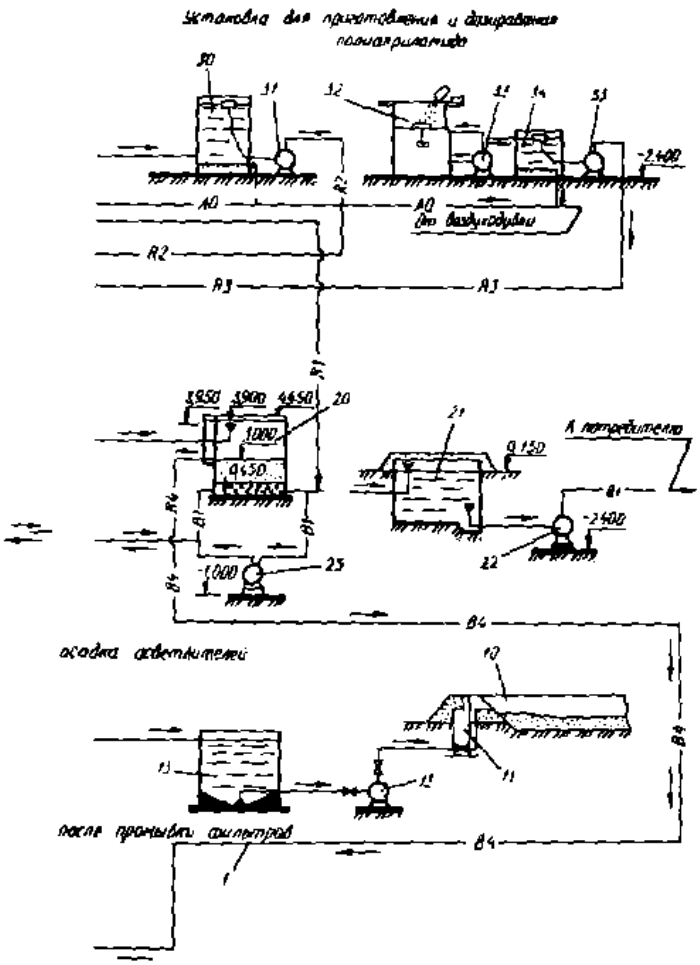


Рис. 8.4. Продолжение

напора в сооружениях и коммуникациях при максимальной производительности станции. При этом за нулевую отметку принимают максимальный уровень воды в резервуаре чистой воды, которая должна быть на 0,25 ... 0,5 м выше поверхности земли. Таким образом образуется высотная схема водоочистной станции (рис. 8.4), на которой обозначаются все технологические сооружения, насосы, дозаторы и др.

Для уменьшения необходимого объема земляных работ при строительстве станции следует максимально учитывать природный рельеф территории строительной площадки.

При составлении высотной схемы и расчете коммуникаций можно исходить из ориентировочных потерь напора, приведенных в табл. 8.2.

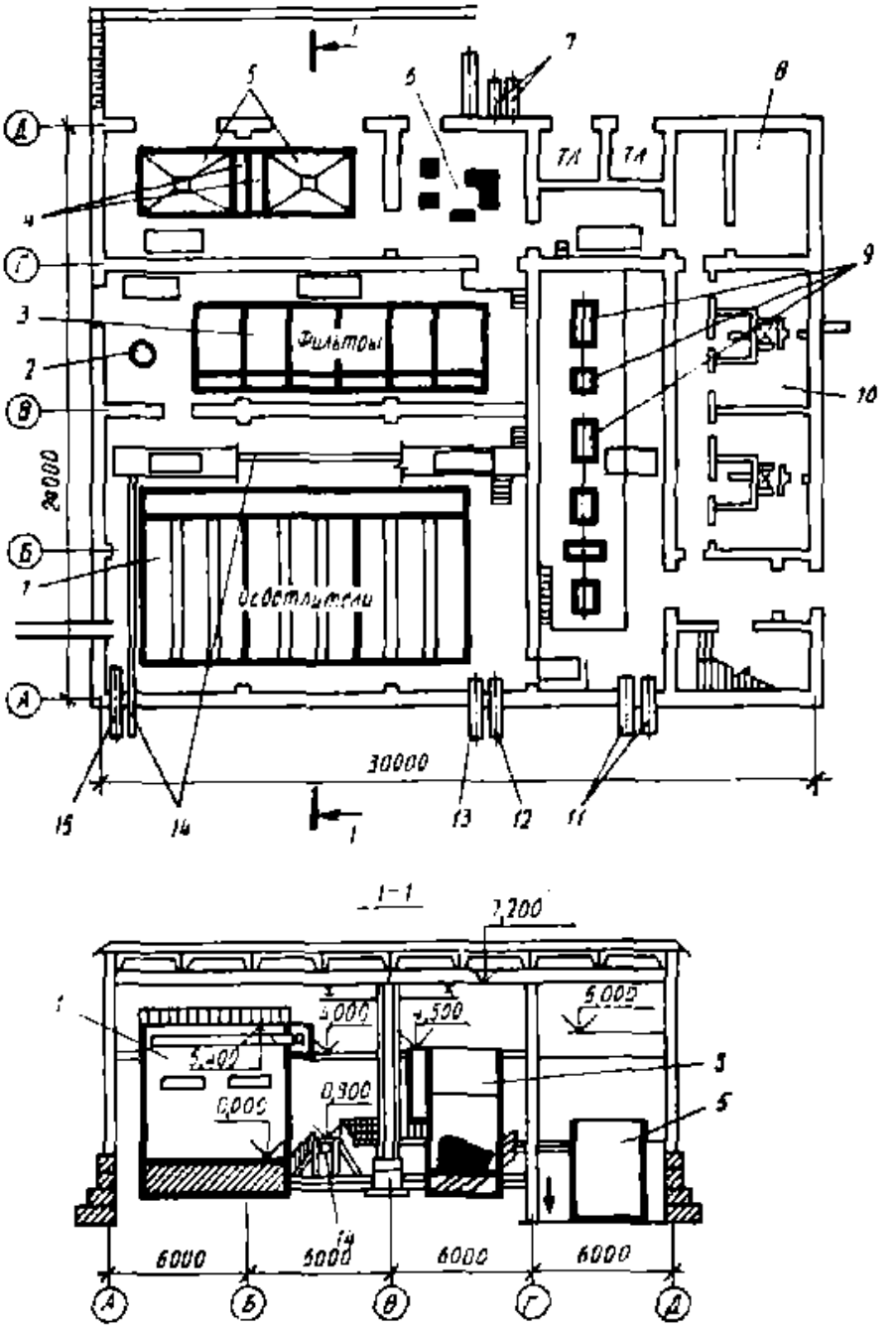


Рис. 8.5. План и разрез технологического блока водоочистной станции:

1 — осветлители со взвешенным осадком; 2 — смеситель; 3 — скорые фильтры; 4 — расходные баки коагулянта; 5 — баки-хранилища коагулянта; 6 — насосы-дозаторы и воздуходувки; 7 — подача очищенной воды потребителю; 8 — мастерские; 9 — насосная станция 2-го подъема; 10 — бытовые помещения; 11 — всасывающие трубопроводы из резервуаров чистой воды; 12 — отвод профильтрованной воды в резервуар чистой воды; 13 — сброс осадка из осветлителей; 14 — сброс промывной воды от фильтров; 15 — подача исходной воды

Потери напора в водомерах учитываются дополнительно в зависимости от их расположения: на входе и выходе станции — 0,5 м; в очистных сооружениях — 0,2 ... 0,3 м.

Для определения размеров поперечного сечения коммуникаций исходят из следующих скоростей течения воды, м/с: от насосной

станции 1-го подъема до смесителя 1,0 ... 1,2; от смесителя до камеры хлопьеобразования или осветлителя со взвешенным осадком 0,6 ... 1,0; от отстойников или осветлителей до фильтров 0,8 ... 1,2; от фильтров до резервуаров чистой воды 1,2 ... 1,5; в трубопроводах подачи и отвода промывных вод 1,5 ... 2,0.

Компоновка водоочистной станции зависит от ее производительности и принятой технологической схемы. Расположение всех сооружений и помещений в одном здании возможно, как правило, только при малой производительности станции (до 5000 $м^3$/сут). При двухступенчатой очистке сооружения 1-й и 2-й ступеней, как правило, располагают в одном зале в параллельных рядах (рис. 8.5). Главный корпус водоочистной станции проектируется двух- или трехэтажным, причем на первом этаже находятся склады, мастерские, растворные баки и другие помещения, куда поставляются материалы и тяжелое оборудование. Лаборатории, диспетчерские, рабочие кабинеты, бытовые помещения и комнаты отдыха располагают на втором и третьем этажах.

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

В данном разделе приводятся технологические схемы, конструкции сооружений и методы их расчета, применяемые на различных этапах механической, биологической, глубокой очистки (доочистки) сточных вод и обработки осадка.

В разделе сделан акцент на те методы и сооружения, описание которых наиболее актуально для курсового и дипломного проектирования. Последовательность изложения материала принята с учетом основных стадий очистки сточных вод и обработки осадка. Расчеты, приведенные в данном разделе, согласуясь с рекомендациями СНиПа, в ряде случаев дополняют и конкретизируют их.

Данный раздел справочника содержит технологическую информацию с кратким текстовым сопровождением, что требует предварительной подготовки по основному перечню учебной литературы.

ГЛАВА 9

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

Механическая очистка сточных вод обычно предшествует биологической или физико-химической очистке. В сооружениях для механической очистки сначала отделяются наиболее крупные загрязнения (решетки, сита), затем тяжелые взвеси (песколовки) и на заключительном этапе — основная масса тонкодиспергированных нерастворенных загрязнений (отстойники, осветлители). На практике сооружения механической очистки обычно составляют первую очередь (пусковой комплекс) строительства станций аэрации.

9.1. Решетки и сита

Решетки устанавливают на всех очистных станциях независимо от способа подачи на них сточных вод — самотеком или под напором после насосной станции, имеющей решетки с прозорами более 20 мм. Ширину прозоров решеток обычно принимают равной 16 мм, скорость протока сточных вод между стержнями решетки не должна превышать 1 м/с во избежание продавливания отбросов. Площадь

прозоров рабочей части решетки определяют расчетом, но она должна быть не менее удвоенной площади живого сечения подводящего канала при ручной очистке и не менее 1,2 живого сечения при механической очистке. Для удобства очистки решетки устанавливают под некоторым утяом к горизонту — от 45 до 90°, но чаще всего применяют угол 60°. Поперечное сечение прутьев чаще принимают прямоугольным размерами 10×40 и 8×60 мм, реже используют стержни круглой формы. Решетки с ручной очисткой устраивают при количестве до 0,1 м³/сут снимаемых отбросов. В этом случае удаление отбросов для их обезвреживания производится в специальных контейнерах.

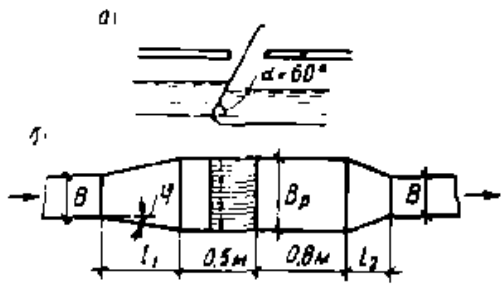


Рис. 9.1. Расчетная схема решетки: *а* — разрез; *б* — план

Расчетная схема решетки представлена на рис. 9.1. Длины уширения подводящего канала l_1 и l_2 до и после решетки определяются по формулам

$$l_1 = \frac{B_p - B}{2tg\varphi} = 1{,}37(B_p - B),\ l_2 \geq 0{,}5l_1, \tag{9.1}$$

где B_p, B — ширина решетки и подводящего канала соответственно; м; $\varphi = 20°$ — угол расширения канала.

Длина уширенного канала или камеры решетки принимается не менее 1 м, а площадки за решеткой — не менее 0,8 м. Число прозоров решетки n находят из соотношения

$$n = qk_3/bh_1v_p, \tag{9.2}$$

где q — максимальный расход сточных вод, м³/с; $k_3 = 1{,}1$ — коэффициент, учитывающий стеснение потока граблями; b — ширина прозора между стержнями, м; h_1 — глубина воды перед решеткой, м; v_p — скорость воды в решетке, м/с.

Общая ширина решетки

$$B_p = s(n-1) + bn, \tag{9.3}$$

где s — толщина стержня решетки, м; n — число стержней.

Потери напора h_p в решетке могут быть определены по формуле

$$h_p = \zeta v_p^2 k_3/2g. \tag{9.4}$$

где k_3 — коэффициент, учитывающий засорение решетки, равный 3; ζ — коэффициент местного сопротивления, зависящий от формы стержней:

$$\zeta = \beta(s/b)^{4/3}\sin\alpha,$$

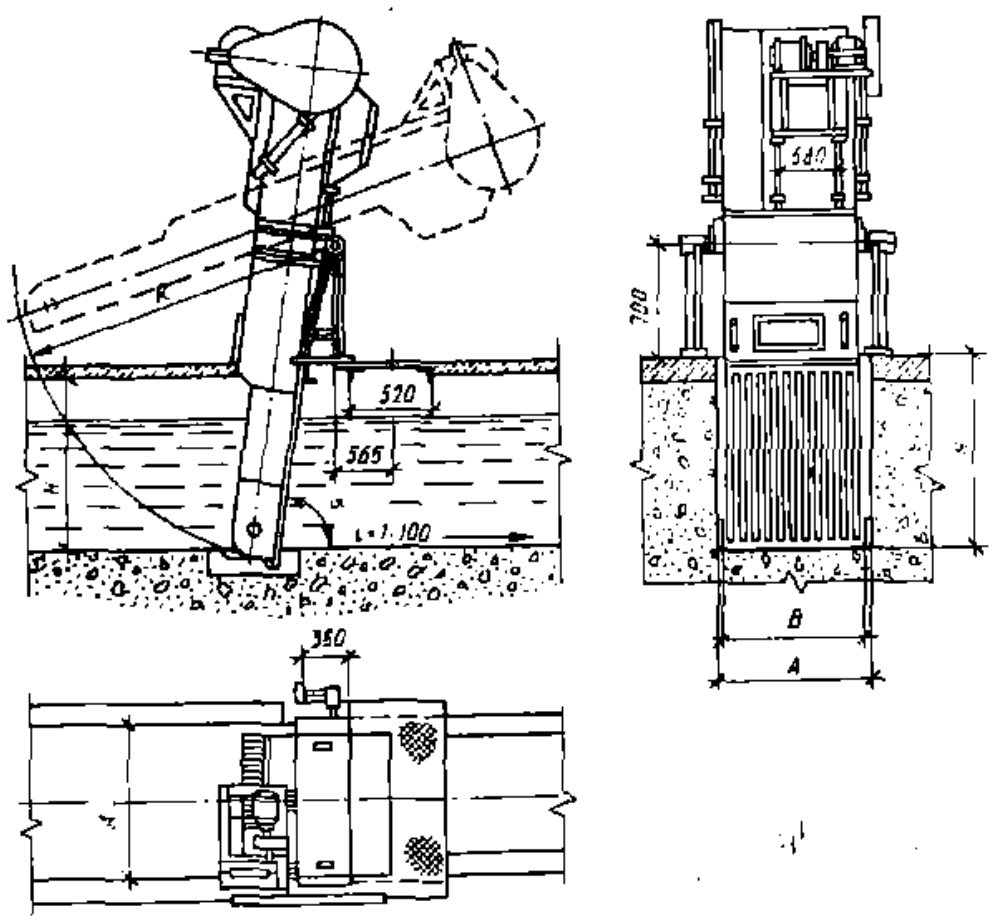


Рис. 9.2. Решетка механическая поворотная типа МГТ

где α — угол наклона решетки к горизонту; β — коэффициент, *равный для прямоугольных стержней* 2,42, *для полукруглых* — 1,83, для круглых — 1,79.

В отечественной практике получили распространение решетки механические поворотные типа МГТ конструкции Гипрокоммунводоканала (рис. 9.2 и табл. 9.1) и механизированные малогабаритные вертикальные РМВ 600/800 конструкции МосводоканалНИИпроекта.

Техническая характеристика решетки РМВ 600/800

Пропускная способность, тыс. $м^3$/сут	17 ... 23
Съем отбросов, т/сут	1,3
Ширина прозоров, мм	16; 40; 60
Площадь сечения потока, $м^2$	0,2; 0,25; 0,27
Масса, кг	610; 570; 555

Весьма прогрессивной является решетка с канатным тяговым элементом граблины, разработанная Союзводоканалпроектом. Эта конструкция отличается от существующих цепных тем, что в ней

Таблица 9.1. **Основные показатели механизированных решеток типа МГТ**

Марка	Размер канала $B \times H$, м	Ширина канала A, м	Число прозоров	Толщина стержней, мм	Радиус поворота R, м	Масса агрегата, кг
МГ 5Т	2x3	2,3	84	8	3,8	2691
МГ 6Т	2x2	2,3	84	8	2,85	2129
МГ 7Т	0,8x1,4	0,95	31	8	2,1	1342
МГ 8Т	1,4x2	1,6	55	8	2,85	1828
МГ 9Т	1x1,2	1,15	39	8	2,05	-
МГ 10Т	1x2	2	39	8	2,85	-
МГ 11Т	1x1,6	1,2	39	8	2,425	-
МГ 12Г	1,6x2	1,8	64	8	2,85	-

вместо втулочно-роликовых цепей, ведущих и ведомых звездочек применен стальной канат, что способствует уменьшению габаритов, а также массы подвижных элементов.

Сортировочная площадка устанавливается непосредственно у корпуса решетки. К площадке на ее уровне или несколько ниже примыкает лоток бункера дробилки. Извлеченные граблями отбросы поступают на сортировочную площадку, где из них удаляют стойкие к разрушению элементы (металл, камни и т. п.), далее отбросы вручную или с помощью ленточного конвейера подаются в загрузочный бункер дробилки. Для измельчения отбросов сточных вод применяют дробилки молотковые и комбинированные решетки-дробилки.

Техническая характеристика канатной решетки

Пропускная способность, $м^3/с$	0,4
Сечение канала, мм	1000x1000
Площадь сечения потока, $м^2$	0,5
Съем отбросов, т/сут	0,3
Мощность привода, кВт	0,4
Скорость движения граблины, м/с	0,04
Общая масса, т	0,7

Принцип действия молотковой дробилки следующий. Отбросы, загружаемые в бункер, поступают на вращающийся ротор и попадают между молотком и гребенкой. Измельченные отбросы вымываются через отверстия решетки водой, поступающей через верхний штуцер.

Техническая характеристика дробилок молоткового типа приведена в табл. 9.2.

В настоящее время на ряде очистных станций как в СНГ, так и за рубежом освоена более совершенная схема дробления отбросов с применением комбинированных решеток-дробилок типа РД (рис.

Таблица 9.2. **Техническая характеристика дробилок молоткового типа**

Марка дробилки	Производительность, т/ч	Мощность электродвигателя, кВт	Частота вращения, мин$^{-1}$	Масса, т
Д-3	0,3 ... 0,6	20	1460	0,79
Д-3а	0,3 ... 0,6	20	1460	0,86
Д-2	2	100	1395	4,9

9.3). Принцип действия решетки-дробилки типа РД заключается в следующем. Сточная вода по подводящему каналу поступает во вращающийся барабан. Задержанные на решетке отбросы при взаимодействии режущих пластин и резцов измельчаются и следуют на выход из решетки-дробилки. При применении решеток-дробилок полностью механизируется процесс грубой механической очистки сточных вод. Решетки-дробилки диаметром 100 и 200 мм устанавливают непосредственно на подводящем трубопроводе. Решетки-дробилки диаметром 400, 600 и 900 мм устанавливают в открытом подводящем канале с изливом сточной воды через специальный дюкер в отводящий канал (рис. 9.4). Техническая характеристика комбинированных решеток-дробилок типа РД представлена в табл. 9.3.

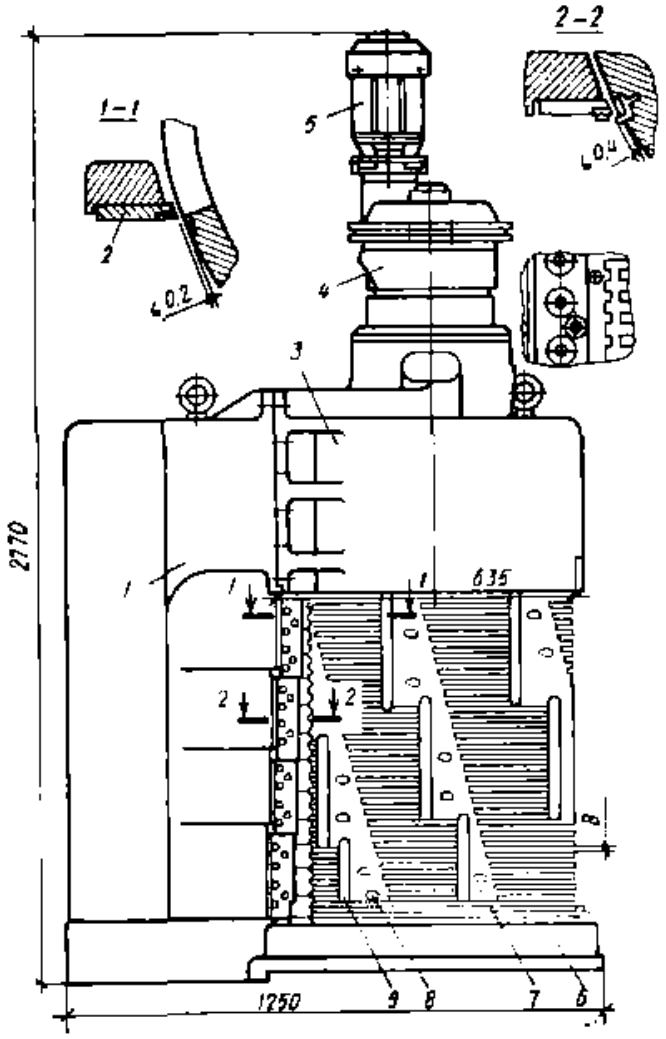


Рис. 9.3. Решетка-дробилка типа РД диаметром 600 мм:

1 — колонка; 2 — трепальный гребень; 3 — подвеска; 4 — редуктор; 5 — электродвигатель; 6 — подставка; 7 — барабан; 8 — резец; 9 — режущая пластина

При наличии в сточных водах волокнистых включений применяют ленточные или барабанные сита. Ленточное сито представляет собой ленту, сплетенную из бронзовой проволоки с размерами отверстий 0,5x0,5 мм и более, вращающуюся на

локах. Очистка сит от задержанных отбросов производится водой или при помощи щеток. Барабанные сита представляют собой цилиндры, поверхность которых покрыта металлической сеткой. Ось цилиндра устанавливается нормально или вдоль движущегося потока сточных вод. При окружной скорости вращающегося барабана, равной 1,5 м/с, уровень жидкости в нем повышается под действием центробежной силы на 20 ... 25 см над уровнем жидкости в канале, что способствует самоочищению барабана.

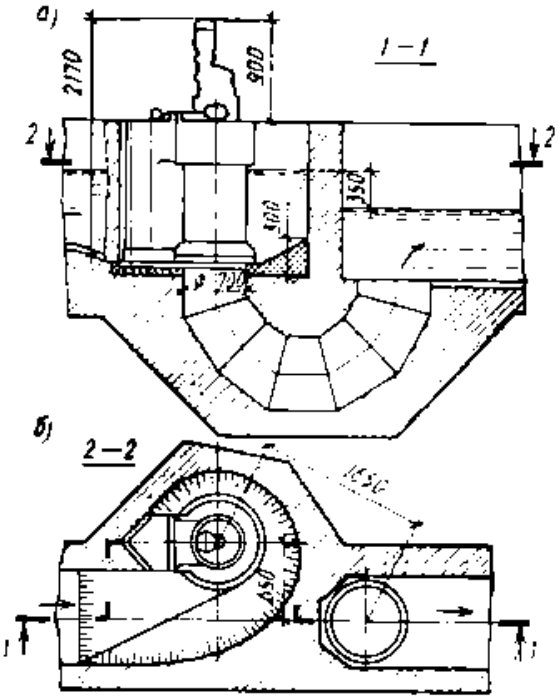


Рис. 9.4. Схема установки решетки-дробилки типа РД:
а — разрез; б — план

9.2. Песколовки

Для выделения из сточных вод тяжелых минеральных примесей (песка, окалины) применяют песколовки. Их предусматривают при расходе сточных вод более 100 м^3/сут непосредственно после решеток.

Они подразделяются на горизонтальные, вертикальные и с вращательным движением жидкости (тангенциальные и аэрируемые). Горизонтальные и аэрируемые песколовки используют при расходах более 10 000 м^3/сут. Горизонтальные песколовки с круговым движением воды применяют при расходах до 50 000 м^3/сут. Вертикальные песколовки неустойчивы в работе, поэтому применяются редко. Некоторые типы песколовок, применяемых за рубежом, представлены на рис. 9.5.

Таблица 9.3. **Технические характеристики комбинированных решеток-дробилок типа РД**

Марка	Пропускная способность, м^3/ч	Ширина щелевых отверстий, мм	Частота вращения барабана, мин$^{-1}$	Мощность электродвигателя, кВт	Масса агрегата, кг
РД-100	30	8	85	0,4	85
РД-200	60	8	53	0,8	400
РД-400	420	10	31	0,8	650
РД-600	2000	10	31	1,5	1800
РД-900	4300	10	-	3	4000

Удаление задержанного песка из песколовок производится ... ную при объеме его до 0,1 м^3/сут. При больших объемах ... сдвигают к приямку песколовки с последующим отводом на пес...

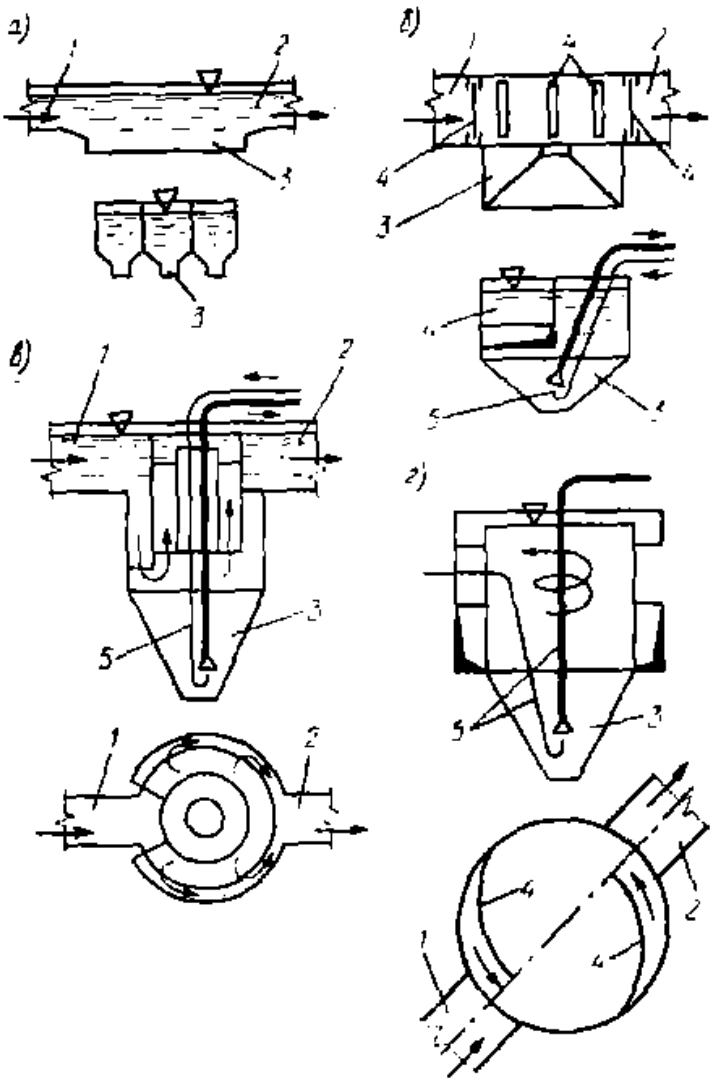


Рис. 9.5. Схемы песколовок, применяемых за рубежом:
а — горизонтальная песколовка с ручным удалением песка; б — горизонтальная песколовка со щелевым днищем; в — песколовка с вертикальным движением воды; г — тангенциальная песколовка; 1, 2 — подающий и отводящий каналы; 3 — песковой приямок; 4 — струенаправляющие щиты; 5 — гидроэлеватор

площадки или песковые бункера гидроэлеваторами или песковыми насосами. Количество песка, задерживаемого на городских станциях аэрации, составляет 0,02 л/чел в сутки влажностью 60% и плотностью 1,5 т/м^3. Объем пескового приямка принимают не более двухсуточного объема выпадающего песка, угол наклона стенок к

у — не менее 60°. Длину L горизонтальных и аэрируемых ловок определяют по формуле

$$L = k_1 vH1000/u_0, \qquad (9.5)$$

где k_1 — коэффициент использования рабочего объема, для горизонтальных песколовок равный 1,3 ... 1,7, для аэрируемых песколовок 2,08 ... 2.62.

Расчетная глубина песколовки H, м, скорость движения сточных вод v, м/с, и гидравлическая крупность песка u_0, мм/с, принимаются по табл. 9.4.

Таблица 9.4. **Расчетные параметры песколовок**

Тип песколовки	Гидравлическая крупность песка u_0, мм/с	Скорость движения сточных вод v, м/с, при потоке		Глубина, H, м
		минимальная	максимальная	
Горизонтальная	18,7 ... 24,2	0,15	0,3	0,5 ... 2
Аэрируемая	13,2 ... 18,7	0,08	0,12	0,7 ... 3,5

Наибольшее распространение получили горизонтальные и аэрируемые песколовки. Для горизонтальных песколовок продолжительность протекания сточных вод при максимальном притоке должна быть не менее 30 с. На рис. 9.6 представлена схема горизонтальной песколовки, оборудованной унифицированным скребковым механизмом на канатной тяге. Выпадающий в песколовке

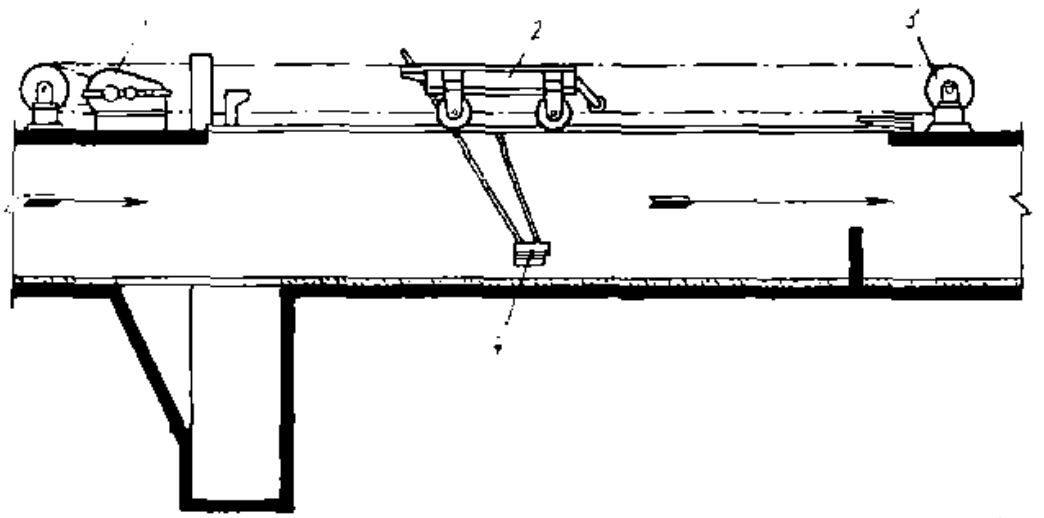


Рис. 9.6. Горизонтальная песколовка, оборудованная унифицированным скребковым механизмом МСПУ с поворачивающимся скребком:
1 — привод, 2 — скребковая тележка; 3 — блок ведомый; 4 — поворачивающийся скребок

осадок сгребается в приямок скребком, откуда гидроэлеватором удаляется за пределы сооружения.

Эксплуатация этих песколовок показала, что они работают эффективно при выравнивании средних скоростей по длине песко-

ловки, что достигается применением одиночных плоских решеток у входного устройства, выполненных из деревянных стержней шириной 15 см с прозорами 6 см. Перед подачей в песковые бункера песок промывают в гидроциклонах $D = 300$ мм, устанавливаемых над бункерами. Требуемый напор пульпы перед гидроциклонами 20 м. Основные типоразмеры горизонтальных песколовок представлены в табл. 9.5.

Таблица 9.5. Основные типоразмеры горизонтальных песколовок

Показатели	Пропускная способность очистной станции, тыс.м^3/сут				
	70	100	140	200	280
Расчетный расход, м^3/с	0,97	1,36	1,87	2,68	3,76
Число песколовок	2	3	4	3	4
Размеры песколовки:					
сечение, м^2	1,62	1,54	3,02	2,9	3,02
длина, м, при гидравлической крупности частиц u_0, мм/с					
18,7	15,8	15,4	18,2	17,7	18,2
24,2	13	12,4	16,3	15,6	16,3
глубина, м	0,58	0,55	0,67	0,65	0,67
ширина, м	3	3	3	4,5	4,5
Количество перекачиваемого в 1 сут из песколовок осадка влажностью 60% ($\gamma = 1,5$ т/м^3):					
в м^3	3,2	4,5	6,4	9	12,8
в т	4,8	6,8	9,6	13,6	19,2
Количество подаваемой в 1 сут рабочей жидкости, м^3	160	225	320	450	640
Продолжительность хранения песка в бункерах емкостью 5 м^3, сут:					
при установке двух бункеров	3	2	-	-	-
то же, четырех бункеров	-	-	3	2	1,6

Песколовки с круговым движением воды (рис. 9.7) могут быть отнесены к горизонтальным песколовкам, в связи с чем в методике расчета этих песколовок много общего. Диаметр D песколовки по оси проточной части равен

$$D = L/\pi = v t/\pi, \qquad (9.6)$$

где t — время пребывания сточной воды в песколовке, равное 30 с.

Длину желоба принимают по средней линии кругового лотка, а бункерную часть проектируют по правилам, изложенным для горизонтальных песколовок. Большим преимуществом песколовок с

круговым движением воды является отсутствие механизмов для удаления песка, что наряду с надежностью работы обусловливает их широкое распространение.

Для аэрируемых песколовок, имеющих прямоугольную форму в плане, предусматривают установку аэраторов из дырчатых труб на 0,7 рабочей глубины вдоль одной из продольных стен над лотком

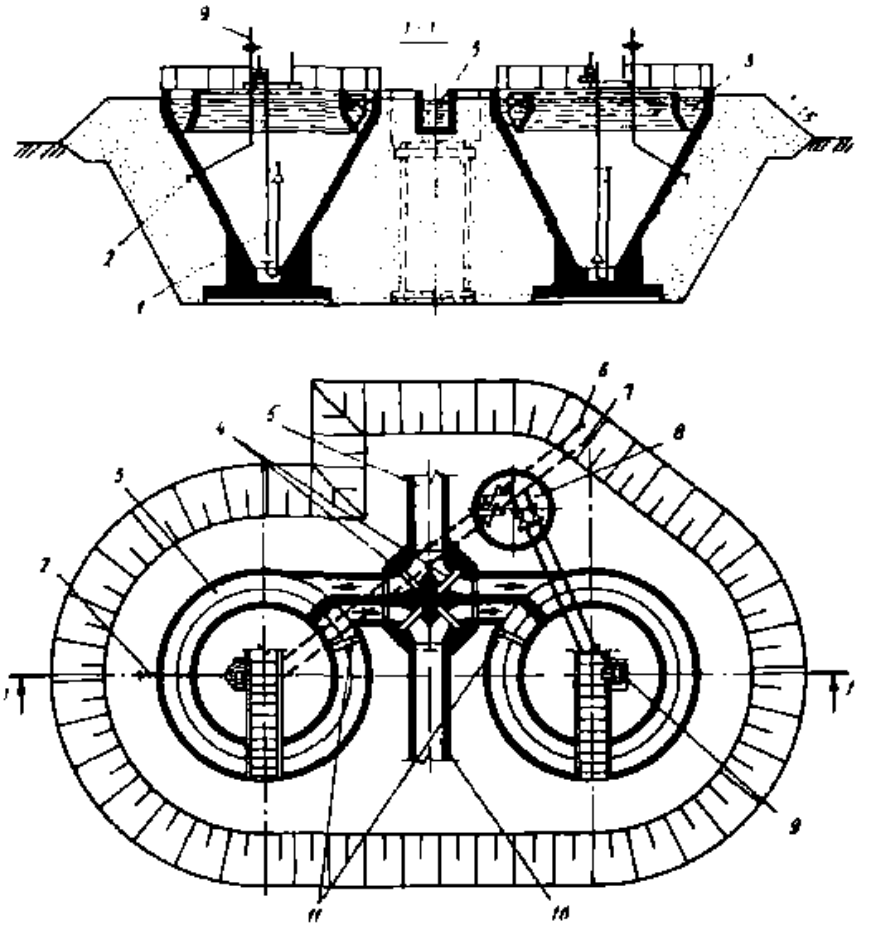


Рис. 9.7. Горизонтальные песколовки с круговым движением сточных вод пропускной способностью 1400 ... 70 000 м³/сут:
1 — гидроэлеватор; 2 — трубопровод для отвода всплывающих примесей; 3 — желоб; 4 — поверхностные затворы с ручным приводом; 5 — подводящий лоток; 6 — пульпопровод; 7 — трубопровод для рабочей жидкости; 8 — камера переключения; 9 — устройство для сбора всплывающих примесей; 10 — отводящий лоток; 11 — полупогружные щиты (при очистке нефтесодержащих вод)

для сбора песка. Интенсивность аэрации обычно не превышает 3 ... 5 м³/м².ч. Отношение ширины к глубине отделения обычно принимают равным 1:1,5, а поперечный уклон дна к песковому лотку — 0,2 ... 0,4. Впуск воды — совпадающий с направлением вращения воды в песколовке, выпуск — затопленный. Наиболее рациональной схемой удаления песка из аэрируемой песколовки

является перемещение его по песковому лотку к приямку с использованием гидросмыва, осуществляемого с помощью трубопровода со спрысками (рис. 9.8). Площадь живого сечения горизонтальной аэрируемой песколовки

$$\omega = Q/vn, \tag{9.7}$$

где v — средняя скорость осевого перемещения воды, равная 0,05 м/с; n — число рабочих отделений

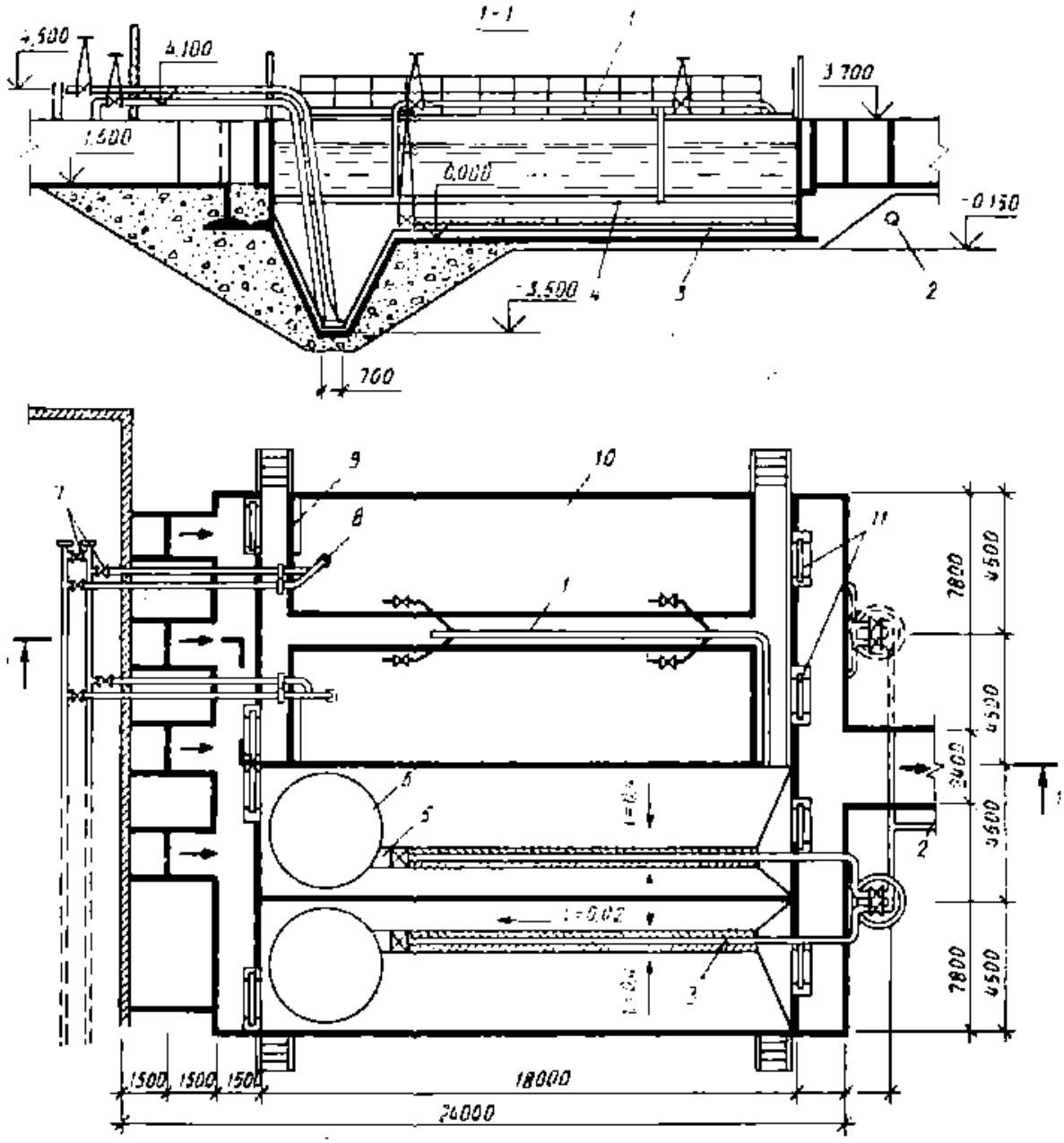


Рис. 9.8. Аэрируемая песколовка с гидромеханическим удалением песка:

1 — воздуховод; 2 — трубопровод для гидросмыва; 3 — смывной трубопровод со спрысками; 4 — каретары; 5 — песковой лоток; 6 — песковой бункер; 7 — задвижки; 8 — гидроэлеваторы; 9 — отражательные щиты; 10 — отделения песколовки; 11 — щитовые затворы

Рабочая глубина H песколовки с учетом этого равна $H = \omega/1,2$, а расчетная глубина $H_p = H/2$. Глубина осаждения песчинки при одном круге вращения $h_1 = Bu_0/2$, где B — ширина песколовки. Число кругов вращения m для 90% улавливания песка расчетной крупности равно

$$m = 1/\lg(1 - h_1/H_p 0,9). \quad (9.8)$$

Тогда время совершения одного оборота равно $t_1 = 1,2B/v_2$, где v_2 — скорость вращения потока, равна 0,3 ... 0,5 м/с. Общее время t пребывания сточной воды в песколовке равно $t = 1,1mt_1$. Расход подаваемой насосам технической воды, $м^3/с$, для гидросмыва равен

$$q_{т.с} = vF = vlb, \quad (9.9)$$

где v — восходящая скорость смывной воды в лотке, принимаемая равной 0,0065 м/с; F — площадь пескового лотка в плане, $м^2$; l, b — соответственно, длина и ширина пескового лотка, м.

Основные показатели аэрируемых песколовок представлены в табл. 9.6.

Таблица 9.6. **Основные параметры аэрируемых песколовок**

Производительность, тыс.$м^3$/сут	Число отделений	Расход воздуха на аэрацию, $м^3$/ч	Размеры отделения, м		
			ширина	глубина	длина
70	2	200	3	2,1	12
100	3	300	3	2,1	12
140	2	460	4,5	2,1	18
200	3	690	4,5	2,8	18
280	4	920	4,5	2,8	18

Для подсушивания песка, удаляемого из песколовок, предусматривают песковые бункера или площадки с ограждающими валиками высотой 1 ... 2 м. Нагрузка на площадки не более 3 $м^3/м^2$ в год при условии регулярного вывоза песка в течение года. Удаляемую с песковых площадок воду необходимо направлять в начало очистных сооружений. Бункера рассчитывают на 1,5 ... 9-суточное хранение песка. За исключением зон с субтропическим климатом, бункера следует располагать в отапливаемых зданиях с расчетной внутренней температурой 5° С.

В целях повышения эффективности отмывки песка песковые бункера применяют иногда в сочетании с напорными гидроциклонами диаметром 300 мм и напором пульпы перед гидроциклоном 20 м, см. § 9.6. Обычно бункера выполняют круглыми в плане диаметром 1,5 ... 2 м. Затвор на выгрузочном отверстии должен быть электрифицирован. Под бункерами обязательно устройство трапов для отвода подтекающей из затворного устройства воды в канализацию. Дренажная вода из песковых бункеров возвращается (как правило, самотеком) в канал перед песколовками.

Основные расчетные параметры первичных отстойников — Таблица 9.7

Тип отстойника	Схема осаждения частицы взвеси	Основной линейный размер, м	t, ч	k
а)	U, u_0, $\bar{U}$; $U=0{,}5..0{,}7$ мм/с; $\bar{U}=u_0$	$D=\sqrt{\frac{4Q}{3{,}6\pi k n(u_0-U)}}$	2,7..3,8	0,35
б)	U, U_1, U_2, u_0; $U=0{,}2..1$ мм/с; $U_1>u_0$; $U_2<u_0$	$D=\sqrt{\frac{4Q}{3{,}6\pi k n u_0}}$	2,7..3,8	0,5
в)	U, U_1, U_2, u_0; $U=0{,}2..1$ мм/с; $U_1<u_0$; $U_2>u_0$	$b=\frac{D}{2}-\sqrt{\frac{D^2}{4}-\frac{Q}{3{,}6\pi U}}$	2,7..3,8	0,65
г)	α, U, $\bar{U}_1$, u_0; $U=1..2$ мм/с; $\bar{U}\perp u_0$	$B=\frac{2}{k}\cdot\frac{HU\cos\alpha}{u_0-U\cos(90^\circ-\alpha)}$	2,0..3,5	0,4
д)	U_1, U_2, u_0, $\bar{U}_1$, $\bar{U}_2$; $U_{ср}=5..10$ мм/с; $U_1>U_{ср}$; $U_2<U_{ср}$	$D=\sqrt{\frac{4Q}{3{,}5\pi k n(u_0-\omega)}}$	1,5..5	0,45
е)	U_1, U_2, u_0, $\bar{U}_1$, $\bar{U}_2$; $u_0=5..10$ мм/с; $U_1<U_2$; $\bar{U}_1\perp\bar{U}_2$	U, мм/с: 5 | 10 | 15; ω, мм/с: 0 | 0,05 | 0,1	1,5..5	0,47
ж)	U, u_0, $\bar{U}$; $U=5..10$ мм/с	$L=\frac{1}{k}\cdot\frac{H\cdot U}{u_0-\omega}$	1,5..4	0,5
з)	U, u_0, $\bar{U}$; $U=u_0$	$D=\sqrt{\frac{4Q}{3{,}5\pi k n u_0}}$	0,8..1,2	0,85

Примечание: Условные обозначения (табл. 9.7): *а* — вертикальный с центральной трубой; *б* — вертикальный с центральной впускной камерой; *в* — вертикальный с периферийным впуском; *г* — диагональный; *д* — радиальный с центральным впуском; *е* — радиальный с периферийным впуском; *ж* — горизонтальный; *з* — с вращающимся сборно-распределительным устройством; *1, 2* — характерные точки, v, v_1, v_2, $v_{ср}$ — скорости потока жидкости; v, v_1, v_2 — скорости движения частицы взвеси; ω — турбулентная составляющая; *b* — ширина кольцевой зоны; *H* — рабочая глубина; *k* — коэффициент объемного использования; α — угол наклона потока жидкости к горизонту, град.

9.3. Отстойники первичные, преаэраторы, биокоагуляторы

Отстойники применяют для гравитационного выделения из сточных вод взвешенных или жировых веществ, оседающих на дно сооружения или всплывающих на его поверхность. По направлению движения основного потока воды различают отстойники: вертикальные, диагональные, горизонтальные и радиальные (табл. 9.7). Отстойники, которые устанавливают перед сооружениями биологической очистки, называются первичными. Вертикальные отстойники всех типов и диагональные отстойники применяют на очистных станциях производительностью до 10 ... 15 тыс. м^3/сут. Горизонтальные отстойники применяют на станциях очистки вод производительностью 10 ... 15 м^3/сут. Радиальные отстойники применяют на станциях производительностью свыше 20 тыс. м^3/сут.

Тонкослойные отстойники рекомендуются для механической очистки производственных сточных вод металлургической, нефтяной, угольной и других отраслей промышленности, содержащих взвешенные вещества преимущественно однородного состава. Применение их в качестве первичных на станциях очистки городских сточных вод сопряжено с частым засорением тонкослойных модулей и поэтому встречается редко. Конструктивные особенности и расчет этих сооружений рассмотрены в § 10.11. Помимо производительности очистной станции при выборе типа отстойников учитывают рельеф площадки, геологические условия, уровень грунтовых вод и т. п. Число рабочих первичных отстойников следует принимать не менее двух, при минимальном числе их расчетный объем необходимо увеличивать в 1,2 ... 1,3 раза. Расчет первичных отстойников производят по гидравлической крупности, мм/с,

$$u_0 = 1000kH/t\left(\frac{kH}{h}\right)^n, \qquad (9.10)$$

где t — продолжительность отстаивания, с, соответствующая заданному эффекту очистки и полученная в лабораторном цилиндре в слое $h = 0{,}5$ м, см. табл. 9.8; n — показатель степени, учитывающий агломерацию взвеси городских сточных вод и в зависимости от ее концентрации равный 0,2 ... 0,3.

Гидравлическая крупность u_0 взвеси для городских сточных вод, определяемая по формуле (9.10), обычно лежит в пределах 0,8 ... 1,5 мм/с.

Таблица 9.8. **Продолжительность отстаивания городских сточных вод в цилиндре высотой 0,5 м**

Эффект осветления, %	Концентрация взвеси, мг/л			
	100	200	300	500
30	900	540	320	260
40	1320	650	450	450
50	1900	900	640	450
60	3800	1200	970	680
70	-	3600	2600	1830

Вертикальный отстойник (рис. 9.9) представляет собой обычно круглый в плане резервуар диаметром 4, 6, 9 м с конической нижней (осадочной) частью. Осаждение взвеси происходит в восходящем потоке сточных вод, следовательно, в осадок выпадают частицы, гидравлическая крупность которых u_0 больше скорости восходящего потока v. Уклон днища отстойника принимают не менее 45° для естественного сползания осадка к отверстию трубы. К достоинствам

Таблица 9.9. **Значения критерия $(kH/h)^n$ для городских сточных вод**

Глубина проточной части	Тип отстойника			
	вертикальный	радиальный	горизонтальный	диагональный
2	1,11	1,16	1,19	1,13
3	1,21	1,29	1,32	1,25
4	1,29	1,35	1,41	1,32

вертикальных отстойников, применяемых на станциях производительностью 10 ... 15 тыс. $м^3$/сут, относится простота конструкции (отсутствие механизма для удаления осадка) и эксплуатационная надежность, к недостаткам — относительно низкий эффект задержания взвеси (в среднем 30 ... 35%). Основные параметры типовых первичных отстойников с впуском воды через центральную трубу представлены в табл. 9.10.

Таблица 9.10. **Основные параметры первичных вертикальных отстойников**

Железобетон	Диаметр, м	Высота, м			Пропускная способность*, $м^3$/ч
		проточной части	осадочной части	общая	
Монолитный	4	4,1	1,8	5,9	31
	6	4,1	2,8	6,9	69,5
Сборный	6	4,2	3,3	7,5	69,5
	9	4,2	5,1	9,3	156,5

* При времени отстаивания 1,5 ч.

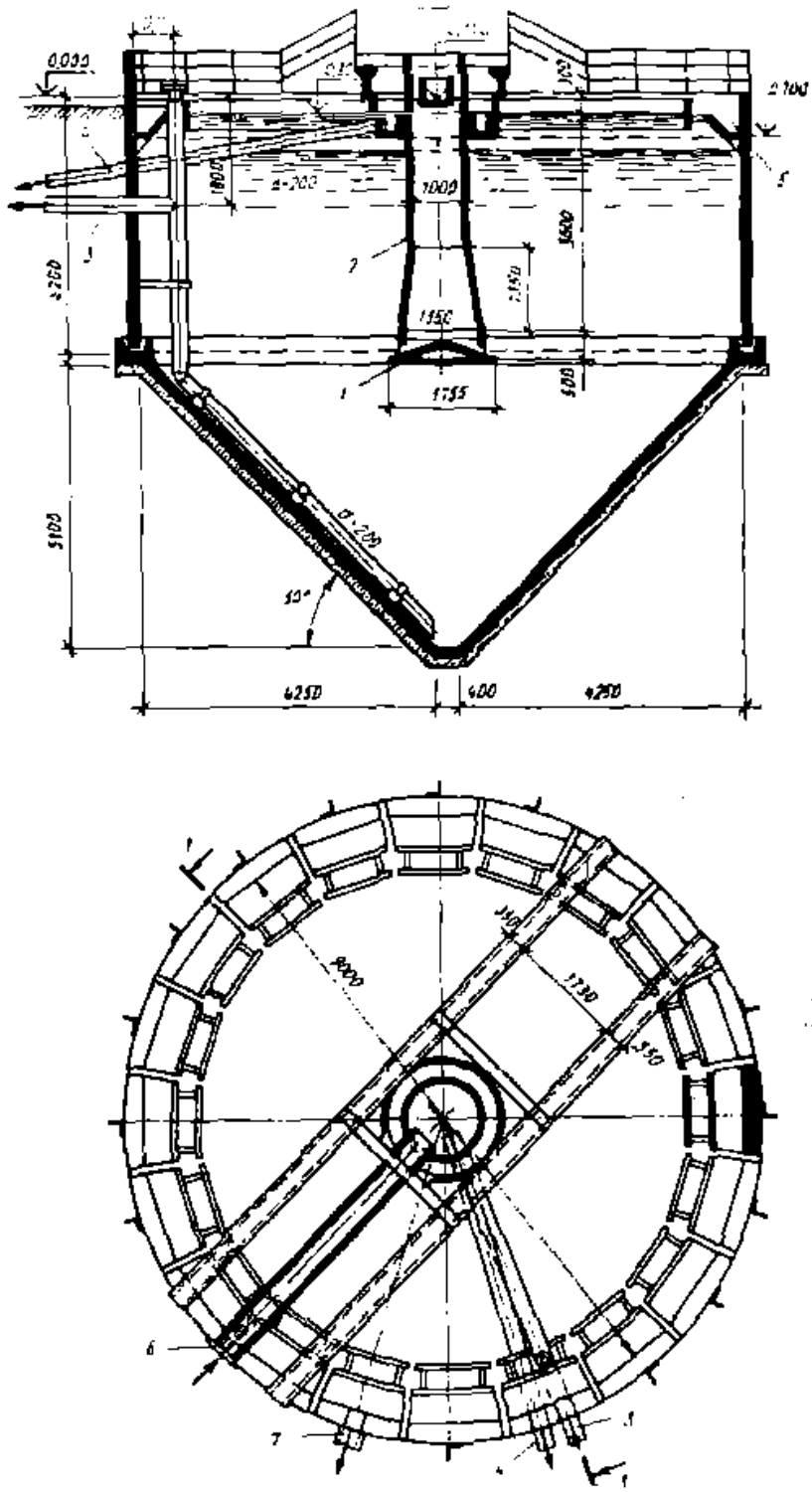


Рис. 9.9. Вертикальный отстойник диаметром 9 м из сборного железобетона:

1 — отражательный щит; 2 — центральная труба; 3 — илопровод; 4 — жироприемник; 5 — водосборный лоток; 6 — подающий лоток; 7 — отводящий лоток

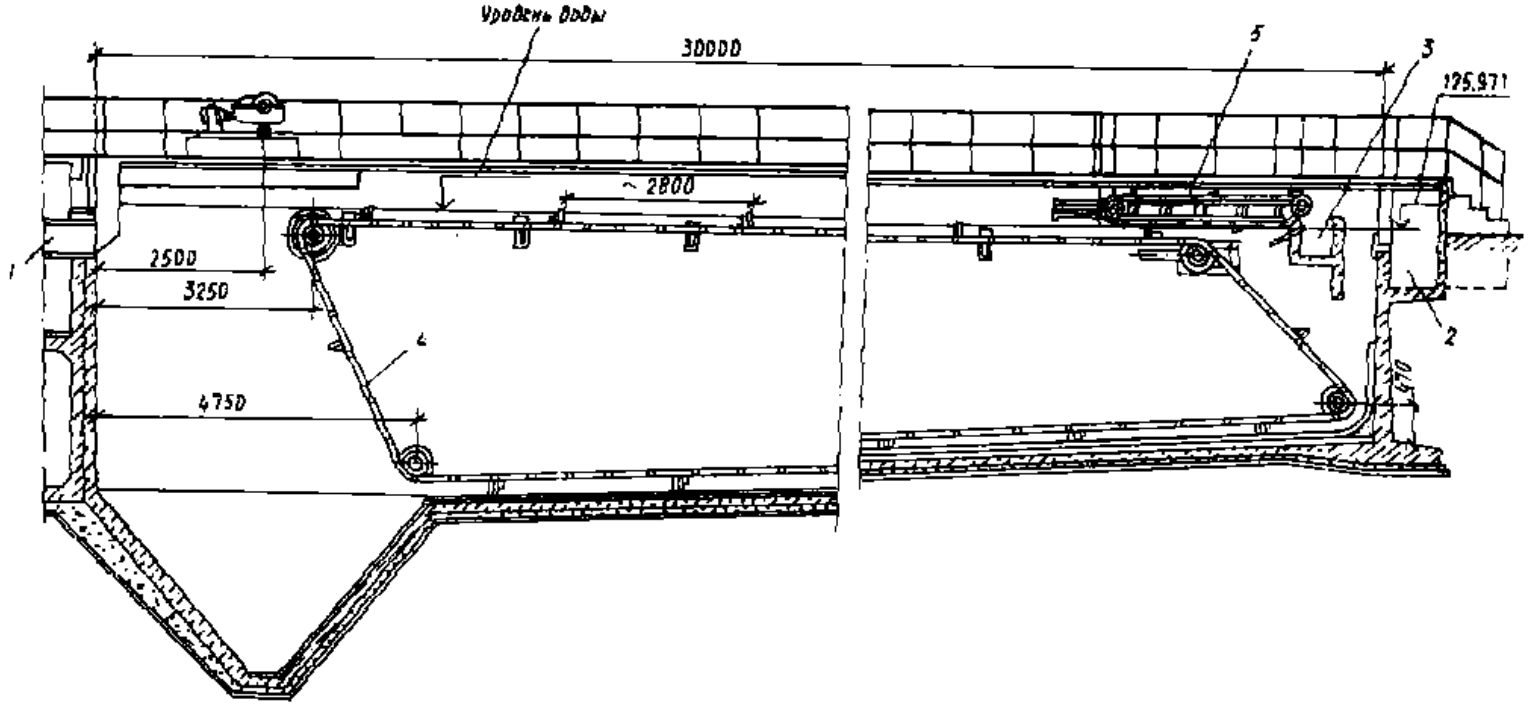


Рис. 9.10. Горизонтальный отстойник со скребками на бесконечной ленте (разрез):

1 — подача сточных вод; 2 — сборный лоток для удаления осветленных сточных вод; 3 — лоток для удаления плавающих веществ; 4 — бесконечная цепь со скребками; 5 — транспортер для удаления плавающих веществ в лоток

Дальнейшее развитие идея вертикального отстойника получила в конструкциях отстойника с нисходяще-восходящим потоком сточных вод и отстойника с периферийным впускным устройством. В вертикальном отстойнике с периферийным впускным устройством сточная вода подается на водораспределительный лоток переменного поперечного сечения, расположенный по периметру отстойника и далее через водослив в кольцевую зону, образованную стенкой отстойника и струенаправляющей стенкой. Осадок из конической части, как и в обычных вертикальных отстойниках, удаляется по иловой трубе под гидростатическим напором.

Горизонтальный отстойник представляет собой прямоугольный в плане резервуар, снабженный расположенными с торцовых сторон впускными и выпускными устройствами, а также механизмом для сбора осадка. Глубина проточной части отстойников обычно 2,5 ... 4 м; среднее отношение длины к глубине близко к 10. Ширина отстойника (обычно 6 ... 9 м) назначается в зависимости от ширины коридоров аэротенка исходя из условий их блокирования в единое секционное сооружение. На рис. 9.10 показан отстойник, снабженный скребковым механизмом для удаления осадка. Вдоль продольных стен отстойника движутся бесконечные цепи, на которых закреплены скребки, сгребающие осадок со дна в приямок, расположенный в начале отстойника. Подобный механизм недостаточно надежен в работе, а его ремонт требует опорожнения отстойника. Отстойник, в котором сбор осадка осуществляется закрепленным на тележке скребком, совершающим возвратно-поступательное движение, получил наибольшее практическое распространение. Тележка передвигается по рельсам, уложенным на продольных стенках отстойника, с помощью реверсивного электропривода. Основные параметры типовых первичных горизонтальных отстойников представлены в табл. 9.11.

Таблица 9.11. Основные параметры первичных горизонтальных отстойников

Размеры отделения, м			Число отделений в секции	Расчетный объем отстойника, $м^3$	Пропускная способность, $м^3/ч$
ширина	длина	рабочая глубина			
6	24	3,15	4	1740	1160
6	24	3,15	6	2610	1740
9	30	3,1	4	3200	2130
9	30	3,1	6	4800	3200
9	30	3,1	8	6400	4260

Радиальный отстойник представляет собой круглый в плане резервуар диаметром 18, 24, 30, 40, 54 м, снабженный устройствами для впуска и сбора воды, располагаемыми как в центре, так и по периферии сооружения. Скорость движения воды в радиальных отстойниках переменная: от максимальной в центре до минимальной

у периферии, в то время как в горизонтальных отстойниках они практически постоянны, что повышает эффект осветления сточных вод. На рис. 9.11 показан радиальный отстойник с центральным впуском сточных вод, оборудованный скребковым механизмом для

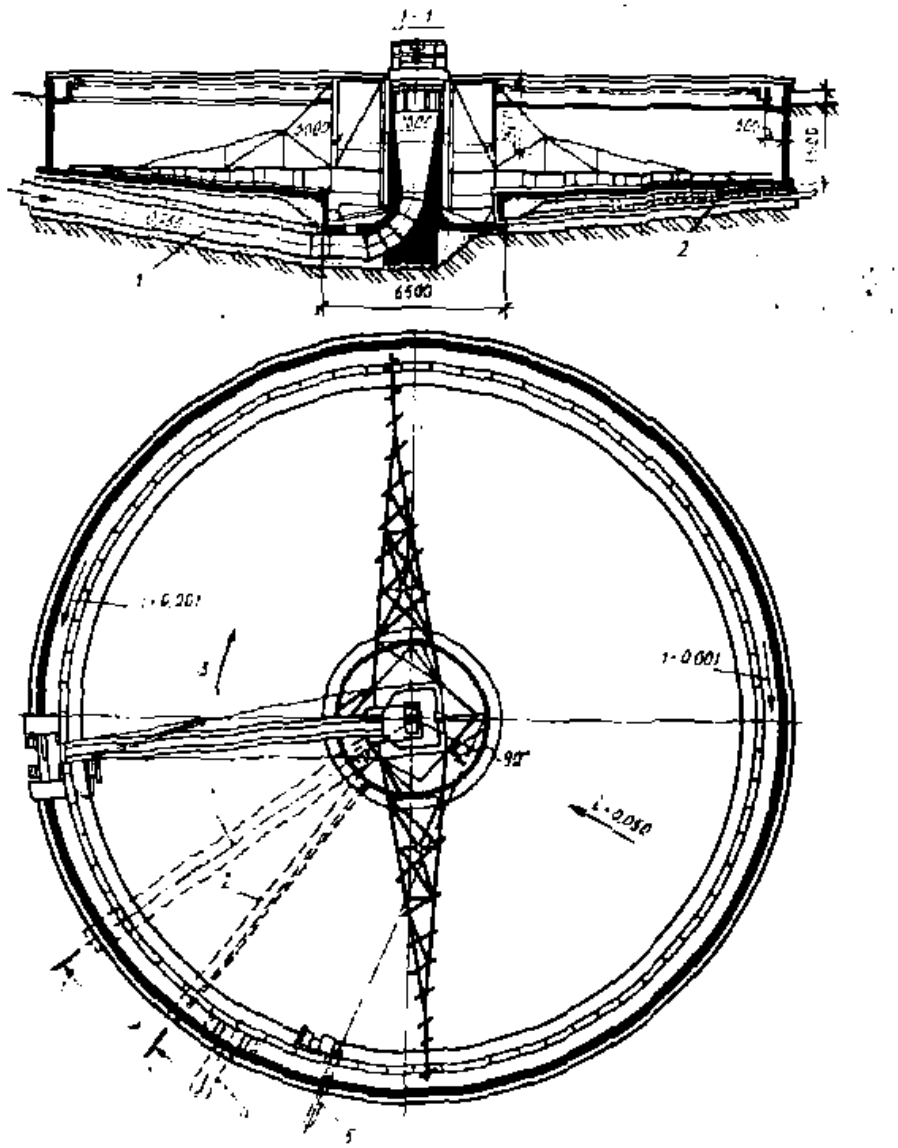


Рис. 9.11. Радиальный отстойник с центральным впуском сточных вод:
1 — подводящая труба; 2 — иловая труба; 3 — направление движения илоскреба; 4 — отводящая труба; 5 — труба для отвода плавающих веществ

сбора осадка. При вращении фермы с прикрепленными к ней скребками происходит перемещение осадка по дну отстойника от периферии к центру. Для подвода питания от неподвижного источника к электродвигателю, установленному на вращающемся мосту, применяют кольцевой токоприемник, укрепленный на мосту

илоскреба над центральной опорой. Основные параметры типовых первичных отстойников представлены в табл. 9.12.

Таблица 9.12. **Основные параметры первичных радиальных отстойников**

Диаметр, м	Глубина, м	Объем, $м^3$			Пропускная способность* $м^3/ч$
		проточной части	осадочной части	общий	
18	3,4	788	120	908	525
24	3,4	1400	210	1610	930
30	3,4	2190	340	2530	1460
40	4	4580	710	5290	3054

* При времени отстаивания 1,5 ч.

Отстойники с вращающимся сборно-распределительным устройством конструкции И. В. Скирдова (рис. 9.12) обеспечивают отстаивание сточных вод, близкое к отстаиванию в покое. Пропускная способность этих отстойников выше пропускной способности обычных радиальных отстойников в среднем на 30 ... 40%, что экономически оправдывает применение более сложных сборно-распределительных устройств. Подача и отвод воды производятся через центральную чашу и сопрягающееся с ней радиальное подвижное устройство, вращающееся со скоростью 2 ... 5 $ч^{-1}$, которое представляет собой желоб, разделенный продольной криволинейной в плане перегородкой на распределительный и сборный лотки. Исходная сточная вода поступает в отстойную зону по всей длине затопленного распределительного лотка через щелевое днище и боковую решетку из струенаправляющих дощаток. Осветленная вода собирается по фронту сборного лотка через водослив, размещенный на его передней по ходу движения стенке.

Преаэраторы применяют для более глубокого осветления сточных вод, а также для их лучшей подготовки к последующей биологической очистке. Простая аэрация (без добавления ила) увеличивает эффект осветления и снижения БПК на 8 ... 12%. Преаэраторы устраивают перед первичными отстойниками и могут конструктивно объединяться с ними. Помимо этого роль преаэраторов могут выполнять аэрируемые лотки и каналы, а также аэрируемые песколовки. Продолжительность аэрации составляет 10 ... 20 мин по максимальному притоку воды; расход воздуха — около 0,5 $м^3$ на 1 $м^3$ аэрируемой сточной воды.

Биокоагуляторы в отличие от преаэраторов помимо аэрации воздухом предполагают использование активного ила, чаще всего около 50% его избыточного количества. Обычно преаэратор (биокоагулятор) и отстойник совмещены в одном сооружении, разделен-

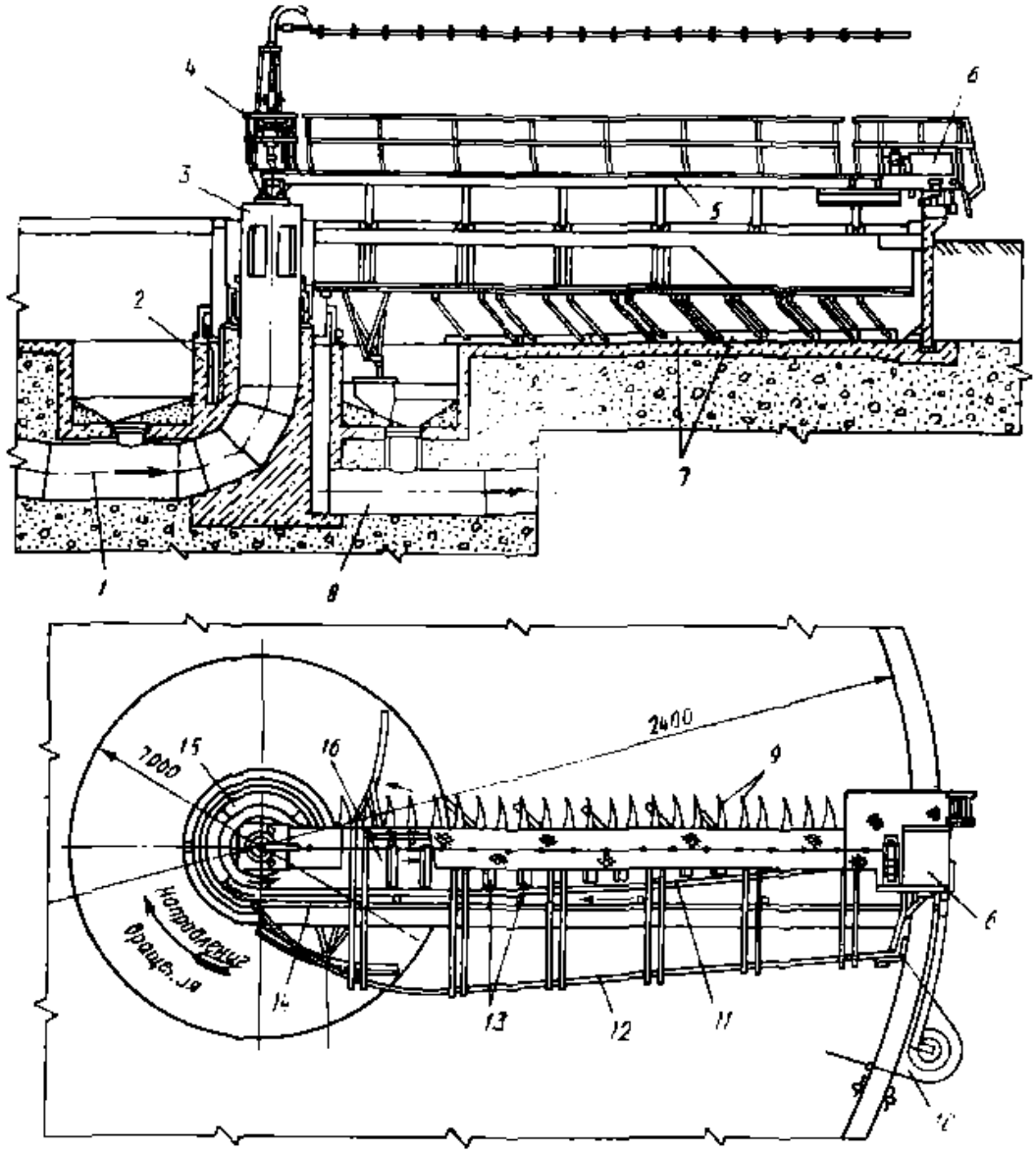


Рис. 9.12. Илоскреб для радиальных первичных отстойников конструкции И. В. Скирдова:

1 — трубопровод исходной воды; 2 — подача сжатого воздуха; 3 — центральный оголовок; 4 — кольцевой водосборник; 5 — мостик; 6 — приводная тележка; 7 — шарнирно-подвешенные скребки; 8 — трубопровод осветленной воды; 9 — струенаправляющие лопатки; 10 — устройство для отвода плавающих загрязнений; 11 — смежная стенка; 12 — полупогруженный щит; 13 — щелевое днище; 14 — водосборный лоток; 15 — кольцевое пространство; 16 — водораспределительный лоток

ном на зоны аэрации и отстаивании (рис. 9.13). Эффективность задержания взвешенных веществ в таком сооружении повышается до 65...70% и может достигать 80%, поэтому совмещенные преаэраторы-отстойники применяют для очистки сточных вод с высоким содержанием взвешенных веществ. Параметры типовых блоков преаэраторов — первичных горизонтальных отстойников размерами в плане 9х36 м каждый представлены в табл. 9.13.

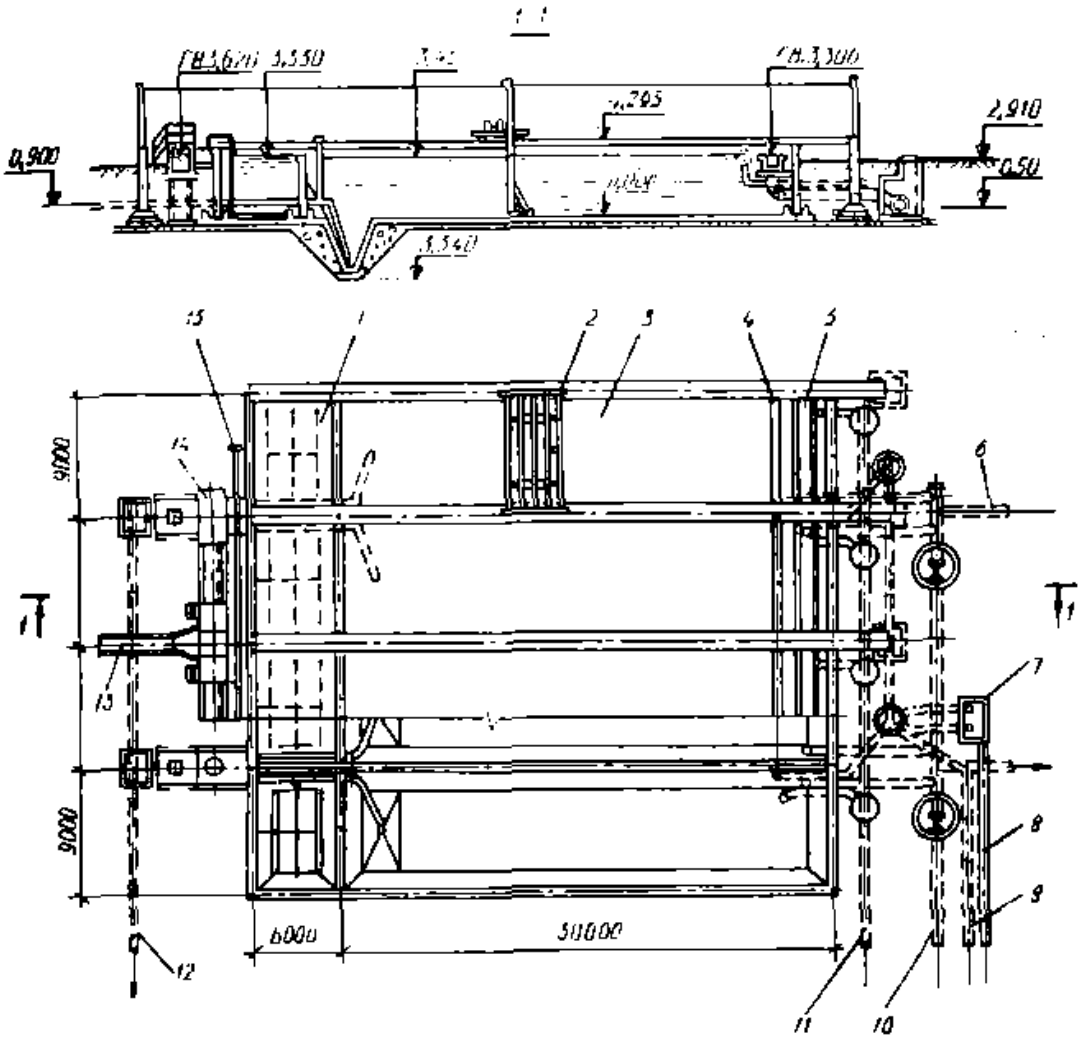


Рис. 9.13. Бокпреаэратор (биокоагулятор) — первичный горизонтальный отстойник:
1 — преаэратор; 2 — скребок; 3 — отстойник; 4 — устройство для удаления плавающих веществ; 5 — сборный лоток; 6 — отвод осветленной воды; 7 — камера насосов плавающих веществ; 8 — трубопровод плавающих веществ; 9 — трубопровод активного ила для разбавления плавающих веществ; 10 — аварийный сброс; 11 — трубопровод опорожнения; 12 — отвод сырого осадка; 13 — подвод воды; 14 — распределительный лоток; 15 — подача воздуха

Таблица 9.13. Основные параметры блоков преаэраторов — первичных горизонтальных отстойников

Число отделений	Расчетный объем, $м^3$			Пропускная способность, $м^3/ч$
	преаэратора	отстойника	Строительный объем, $м^3$	
4	720	3200	5173	2130
6	1080	4800	7768	3200
8	1440	6400	10330	4260

Примечание. Пропускная способность дана при продолжительности аэрации 20 мин и отстаивания 1,5 ч.

Нефтеловушки применяют для очистки сточных вод, содержащих грубодиспергированные нефтепродукты, а также жиры и смолы при концентрации свыше 100 мг/л. Нефть всплывает на поверхность нефтеловушки, так как плотность ее частицы ρ_2 (сферической капли диаметром d) меньше плотности воды ρ_1 со скоростью u_0 в соответствии с формулой Стокса

$$u_0 = \frac{1}{18} \frac{\rho_1 - \rho_2}{\mu} g d^2, \tag{9.11}$$

где μ — динамическая вязкость воды.

Для определения длины отстойной части прямоугольной нефтеловушки применима формула, м,

$$L = a \frac{v}{u_0} H, \tag{9.12}$$

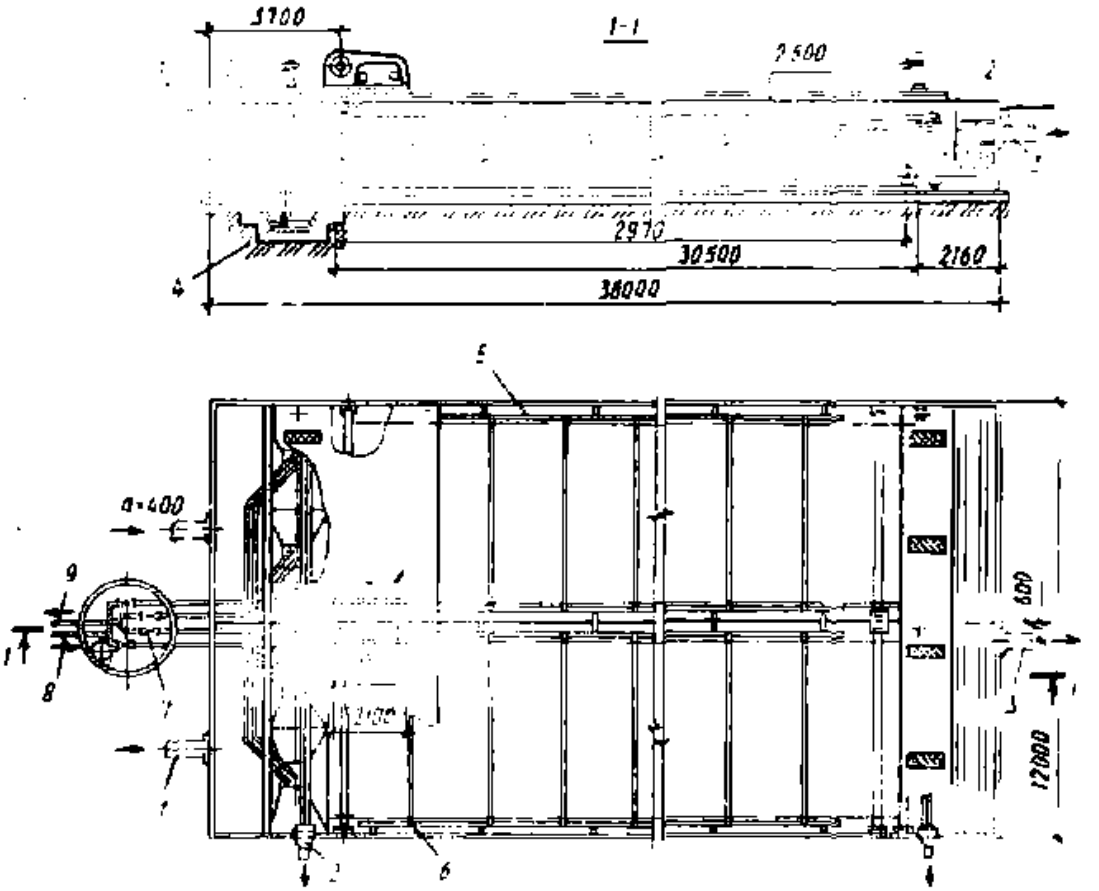


Рис. 9.14. Нефтеловушка пропускной способностью 396 м³/ч:

1 — трубопровод для подачи сточных вод на очистку; 2 — нефтесборная трубка; 3 — трубопровод для отвода осветленных сточных вод; 4 — гидроэлеватор; 5 — скребковый транспортер левый; 6 — то же, правый; 7 — задвижка с электроприводом во взрывобезопасном исполнении; 8 — трубопровод для подачи воды к гидроэлеватору; 9 — трубопровод для отвода осадка

где a — коэффициент, учитывающий соотношение скоростей v и u_0 следующим образом:

v/u_0	0,1	20	15	10
a	12	1,75	1,65	1,5

Нефтеловушки (продуктоловушки) используют также для выделения из воды некоторых специфических веществ (парафина), а также для осаждения твердых механических примесей. Нефтеловушки бывают горизонтальные, радиальные и многоярусные.

Горизонтальная нефтеловушка (рис. 9.14) представляет собой отстойник, разделенный продольными стенками на параллельные секции. Сточная вода из отдельно расположенной распределительной камеры по самостоятельным трубопроводам поступает через щелевую перегородку в каждую секцию нефтеловушки. Освобожденная от нефти вода в конце секции проходит под затопленной стенкой и через водослив переливается в отводящий лоток и далее в трубопровод. Всплывшая нефть по мере ее накопления смещается

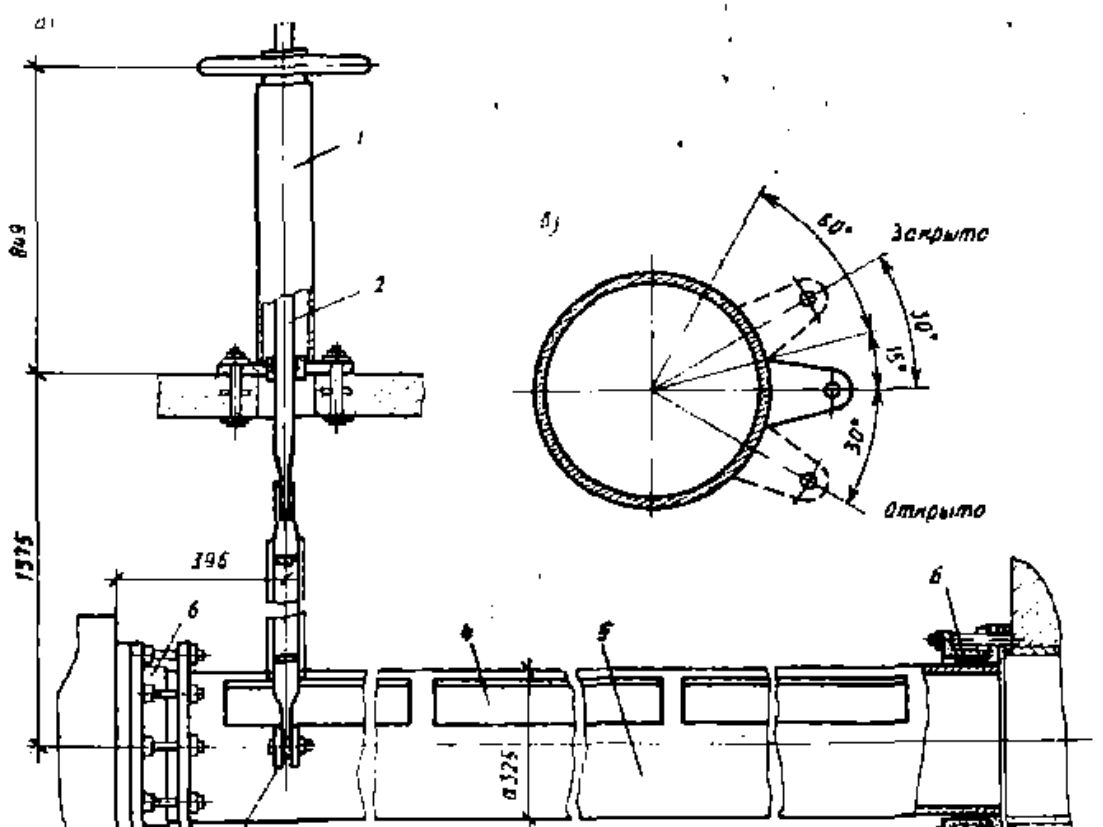


Рис. 9.15. Нефтесборная поворотная труба с ручным приводом:
а — общий вид; б — схема поворотного устройства; 1 — колонка; 2 — шпиндель; 3 — шарнир; 4 — щель; 5 — труба; 6 — сальник

скребковыми транспортерами к щелевым поворотным трубам (рис. 9.15) и выводится по ним из нефтеловушки. Описываемая поворотная труба имеет диаметр 300 мм, угол поворота 60°, время поворота на максимальный угол 5 мин. Конструкция нефтесборной трубы с электроприводом в целом аналогична конструкции с ручным приводом. Отличие состоит в том, что электропривод обеспечивает как дистанционное, так и местное управление трубой. Основные параметры типовых горизонтальных нефтеловушек представлены в табл. 9.14.

Таблица 9.14. **Основные параметры горизонтальных нефтеловушек**

Размеры секций, м			Глубина проточной части, м	Число секций	Пропускная способность $м^3/ч$
ширина	длина	высота			
2	12		1,2	1	18
2	12		1,2	2	36
3	18	2,4 и 3,6	1,25	2	72
3	24		1,5	2	108
3	30		2	2	162
6	36		2	2	306
6	36	2,4	2	3	594
6	36		2	4	792

Радиальная нефтеловушка оборудована вращающимся механизмом с донными и поверхностными скребками для сбора осадка и всплывших нефтепродуктов. Расчетная пропускная способность нефтеловушки диаметром 30 м составляет 1100 $м^3/ч$ сточной воды. Применение такой нефтеловушки по сравнению с горизонтальной обеспечивает экономию капитальных и эксплуатационных затрат. Вместе с тем эти нефтеловушки, как и другие механические улавливатели, обладают ограниченным эффектом снижения углеводородов и практически не задерживают токсомульгированные и растворенные продукты.

Работу нефтеловушки можно интенсифицировать применением в них тонкослойной насадки в виде наклонных параллельных пластин, установленных в конечной части сооружения. Разделение проточного объема нефтеловушки на наклонные каналы глубиной 30 ... 50 мм сокращает время осаждения взвеси, улучшает равномерность движения воды и способствует коалесценции (укрупнению) капель нефти. Поток воды проходит через полочные блоки (угол наклона 60°) с длиной яруса 1,5 м, в которых задерживается 60 ... 90% взвешенных веществ и происходит удаление нефтепродуктов с гидравлической крупностью $u_0 = 0,7$ мм/с и более. Расчеты показывают, что такое решение позволяет увеличить пропускную способность нефтеловушки в 1,5 ... 2 раза.

9.5. Двухъярусные отстойники, осветлители-перегниватели

Двухъярусные отстойники (эмшеры) для механической очистки сточной воды, уплотнения и сбраживания выпавшего осадка получили широкое распространение на очистных станциях производительностью до 10 тыс. $м^3$/сут благодаря своей простоте. Двухъярусный отстойник (рис. 9.16) снабжен коническим или пирамидальным днищем, переходящим в цилиндрическую или призматическую верхнюю часть, в которой расположены от одного до трех (чаще два) осадочных желобов. Осадочные желоба, по которым протекает сточная вода, аналогичны горизонтальным отстойникам, в которых осаждаются взвешенные вещества. Осадок по наклонным стенкам желобов через щели шириной 0,15 ... 0,2 м сползает в иловую камеру. Нижние грани желоба обычно перекрывают одна другую на 0,15 ... 0,25 м, чтобы предотвратить возможность заражения осветленной воды продуктами анаэробного распада. Для созревания осадка при температурном интервале жидкости 10 ... 15° С требуется 120 ... 60 дней.

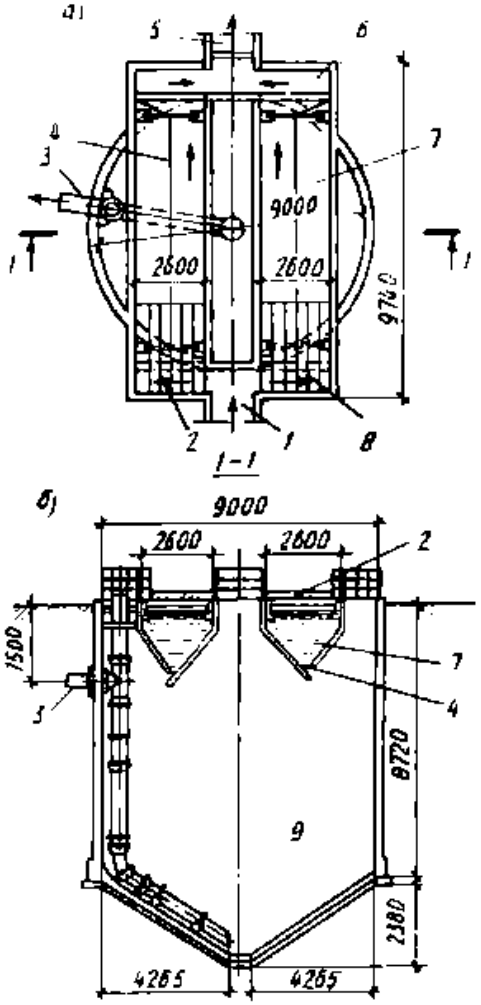


Рис. 9.16. Одиночный двухъярусный отстойник:

а — план; б — разрез; 1 — подводящий лоток; 2 — утеплительные щиты; 3 — шлюпровод; 4 — щель; 5 — отводящий лоток; 6 — сборный лоток; 7 — отстойный желоб; 8 — распределительный лоток; 9 — осадочная часть

Общая высота желоба H, м, в зависимости от гидравлической крупности u_0, мм/с, выпадающего осадка определяют по формуле

$$H = 3{,}6u_0t, \qquad (9.13)$$

где t — время пребывания жидкости в осадочных желобах, принимаемое в пределах 1,5 ... 3 ч.

При расчете двухъярусных отстойников свободную поверхность водного зеркала всплывания осадка принимают не менее 20% общей площади отстойника в плане, уклон конического днища септической камеры на менее 30° (обычно 45°), влажность удаляемого осадка — 90%, распад беззольного вещества осадка — 40%, а эффективность задержания

взвешенных веществ — 40 ... 50%. Общий объем септической камеры W, м^3, в зависимости от приведенного числа жителей $N_{пр}$ определяют по формуле

$$W = W_1 N_{пр}, \qquad (9.14)$$

где W_1 — объем септической камеры на одного жителя в зависимости от средней зимней температуры сточных вод, t° С, табл. 9.15.

Таблица 9.15. Зависимость удельного объема септической камеры от температуры сточных вод

$t, ^\circ$ С	6	7	8,5	10	12	15	20
W_1, м^3	0,11	0,095	0,08	0,065	0,05	0,03	0,015

Для приближения эффекта осветления двухъярусных отстойников к горизонтальным их следует устраивать спаренными (рис. 9.17), что позволяет удлинить осадочные желоба до 30 м и более. Во избежание переохлаждения сточных вод в зимнее время

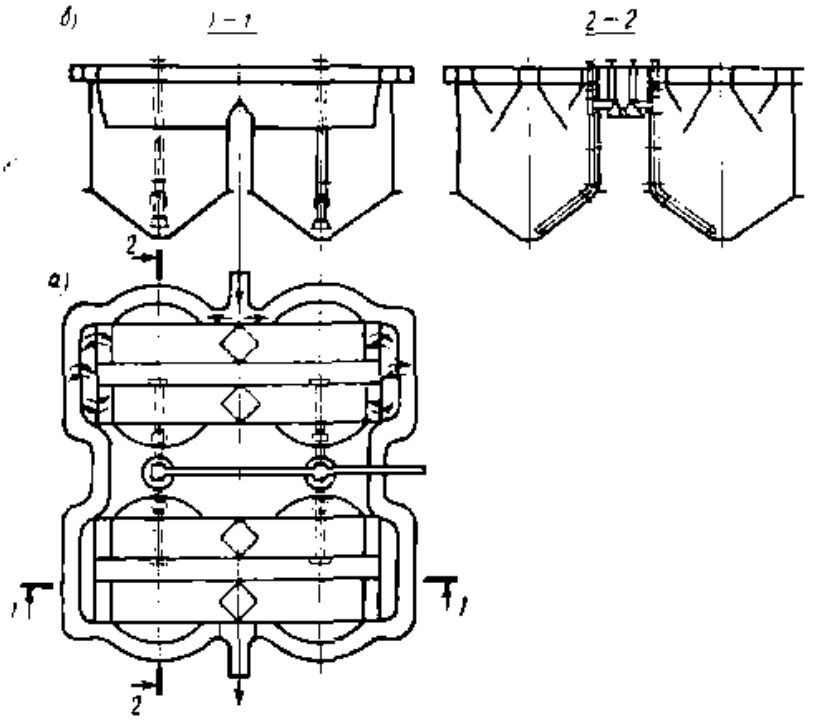


Рис. 9.17. Спаренный двухъярусный отстойник:
а — план; б — разрезы

необходимо верхнюю часть двухъярусных отстойников утеплить путем обвалования их грунтом на глубину, равную глубине промерзания в данной местности. Поверхность осадочных желобов и лотков должна быть также закрыта деревянными щитами для

предохранения от охлаждения воды с поверхности и от заносов снегом. Основные параметры типовых двухъярусных железобетонных отстойников представлены в табл. 9.16.

Таблица 9.16. Основные параметры двухъярусных отстойников

Основные параметры	Конструктивное исполнение сооружения						
	Монтажное				Сборное		
Диаметр, м	6	6	9	9	9	12	12
Общая высота, м	7,6	8,8	8,5	9,7	8,5	8,2	9,4
Пропускная способность, $м^3/ч$, при времени отстаивания 1,5 ч	13,7	13,7	37,5	37,5	31	67	67

Осветлители-перегниватели (рис. 9.18) применяют для очистки концентрированных сточных вод, например мясокомбинатов. Обычно это сооружение состоит из осветлителя с естественной аэрацией,

Таблица 9.17. Основные параметры осветлителей-перегнивателей

Диаметр сооружения, м	Параметры осветлителя		Технологический объем перегнивателя, $м^3$	Пропускная способность сооружения, $м^3/ч$
	диаметр, м	площадь зоны осветления, $м^2$		
9	5	15,5	306	41,3
12	5	15,5	640	50
15	6	22,5	1060	73

концентрически расположенного внутри перегнивателя. Естественная аэрация происходит за счет разности уровней воды в распределительной чаше и осветлителе (0,4 ... 0,6 м), и эффект ее невелик. Диаметр осветлителя 9 ... 15 м, уклон днища осветлителя — не менее 50°, снижение концентрации загрязняющих веществ по взвешенным веществам — до 70% и по $БПК_{полн}$ — до 25%. Септический объем осветлителя-перегнивателя определяется аналогично объему иловой камеры двухъярусного отстойника. Основные параметры типовых осветлителей-перегнивателей представлены в табл. 9.17.

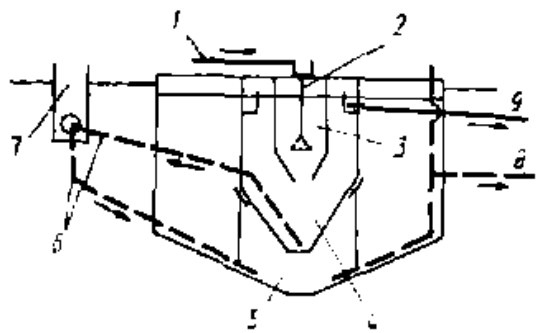


Рис. 9.18. Схема осветлителя-перегнивателя:

1 — подача исходных сточных вод; 2 — центральная труба; 3 — флокулятор; 4 — осветлитель; 5 — перегниватель; 6 — подача осадка на сбраживание; 7 — технологическая камера; 8 — удаление сброженного осадка, 9 — отведение осветленных сточных вод

9.6. Гидроциклоны

Гидроциклоны применяют для выделения из сточных вод оседающих грубодисперсных примесей в

качестве первой ступени перед дальнейшей очисткой производственных сточных вод. В гидроциклонах обеспечивается отделение песка и минеральных частиц диаметром более 0,1 ... 0,15 мм, плотностью 1,2 г/см^3 и более, которые отводятся через патрубок сгущенного продукта. Гидроциклоны относятся к сооружениям гравитационно-отстойного типа с вращательным движением в рабочей зоне, которое создается тангенциальным подводом осветляемой воды к цилиндрическому корпусу. В процессе вращения потока происходит агломерация взвешенных частиц и увеличение их гидравлической крупности. Применяют открытые и напорные гидроциклоны (см. § 5.4). Осадок из конической части гидроциклонов откачивают насосами, гидроэлеваторами или удаляют под гидростатическим напором.

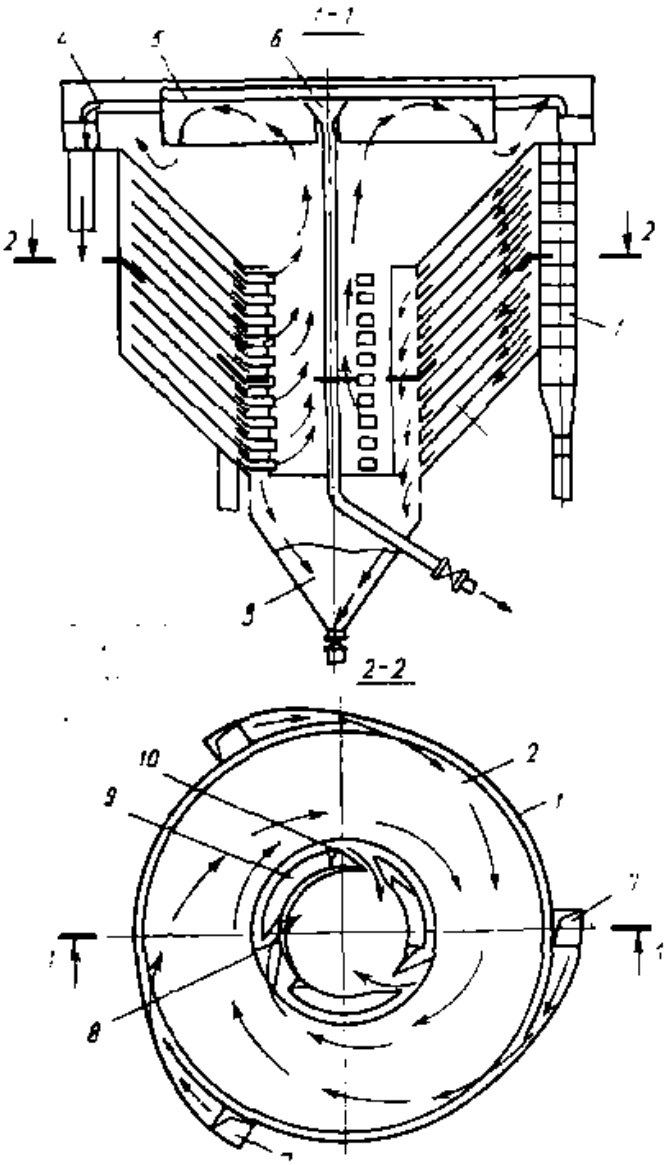


Рис. 9.19. Многоярусный низконапорный гидроциклон:
1 — корпус; 2 — разделительные тарелки; 3 — бункер для шлама; 4 — водосливная кромка; 5 — маслоудерживающий щит; 6 — воронка для отвода масла; 7 — впускные камеры; 8 — насадки для отвода воды; 9 — шламоприемные щели; 10 — окна для отвода масла

Открытые гидроциклоны применяют следующих типов: без внутренних устройств, с диафрагмой и цилиндрической перегородкой, многоярусные (рис. 9.19). Открытые гидроциклоны без внутренних устройств рекомендуется применять для задержания частиц с гидравлической крупностью более 5 мм/с. Диаметр гидроциклона 2,5 ... 6 м, гидравлическая нагрузка 4 ... 10 м^3/ч на 1 м^2 площади поверхности, потери напора в пределах 0,5 м. Интенсификация процесса разделения в многоярусном гидроциклоне достигается за счет уменьшения высоты слоя отстаивания. Вращательное движение

позволяет полнее использовать объем яруса и создает более благоприятные условия для агломерации взвешенных частиц. Масло и другие плавающие загрязнения сточных вод через зазор между диафрагмами и корпусом гидроциклона всплывают на поверхность, откуда через специальную воронку отводятся за пределы установки. Для всех видов открытых гидроциклонов гидравлическую нагрузку q, $м^3/м^2 \cdot ч$, определяют по формуле

$$q = 3{,}6ku_0. \qquad (9.15)$$

где k — коэффициент, зависящий от типа гидроциклона: без внутренних устройств 0,61; с конической диафрагмой и внутренним цилиндром 1,98; многоярусного с центральными и периферийными выпусками $k = (0{,}75 \ldots 1{,}5)n(D^2 - d^2)/D^2$, где n — число ярусов гидроциклона; d — диаметр центрального отверстия в диафрагме, м; u_0 — гидравлическая крупность задерживаемых частиц, мм/с.

Напорные гидроциклоны применяют для механической очистки сточных вод, а также для сгущения, обогащения и классификации осадка. В напорном гидроциклоне поток сточной жидкости, перемещаясь по нисходящей винтовой спирали уменьшающегося диаметра, поступает в его коническую часть, где основной поток изменяет направление движения и удаляется через верхний центральный патрубок. Отделившийся в пристенной зоне осадок и наиболее концентрированная пульпа удаляются из гидроциклона через шламовый патрубок. При необходимости более глубокой очистки сточных вод применяют последовательную работу гидроциклонов различных типоразмеров. В этом случае аппараты первой ступени удаляют из воды в основном грубые взвеси, а аппараты последующих ступеней используют для выделения более мелких частиц. При многоступенчатой схеме работы гидроциклонов целесообразно подавать очищаемую воду по замкнутой схеме под общим напором во все последовательно работающие ступени. При последовательной установке гидроциклонов их диаметр D уменьшается от ступени к ступени с изменением u_0 по зависимости, близкой к степенной. Промышленность выпускает напорные гидроциклоны диаметром 25 ... 500 мм.

ГЛАВА 10

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

10.1. Сущность метода

Биологическая очистка сточных вод основана на способности микроорганизмов использовать растворенные и коллоидные органические загрязнения в качестве источника питания в процессах своей жизнедеятельности. Биологическая очистка сточных вод может

осуществляться как в естественных условиях (поля орошения, поля фильтрации, биологические пруды), так и в специальных сооружениях (аэротенки, биофильтры). Искусственное культивирование микроорганизмов в специально созданных для них благоприятных *внешних условиях (состав питательной среды, избыток растворенного* кислорода, температура) резко ускоряет биологическую очистку сточных вод, хотя и требует дополнительных затрат.

Структура окислительного процесса. Расходование питательных ресурсов бактериальной клеткой происходит в двух направлениях: на прирост клеточной биомассы и на получение необходимой энергии ΔW. Наряду с этими существует и третье направление — внутриклеточное дыхание или эндогенная респирация, приводящая к окислению клеточного материала.

Показатель БПК отражает наличие в воде источника углеродного питания, который окисляется до диоксида углерода. Белковый азот в результате аммонификации разлагается до аммонийного, который и используется при очистке сточных вод в качестве источника азота. Наиболее интенсивно азот потребляется в период роста клеток, а в период их распада высвобождается в виде аммиака, окисляясь затем до нитритов и нитратов. Это иллюстрируется следующими уравнениями:

окисления органического вещества

$$C_xH_yO_z + (x + 0{,}25y - 0{,}5z)O_2 \rightarrow \\ \rightarrow xCO_2 + 0{,}5yH_2O + \Delta W; \qquad (10.1)$$

синтез бактериальных клеток

$$C_xH_yO_z + nNH_3 + n(x + 0{,}25y - 0{,}5z - 5)O_2 \rightarrow \\ \rightarrow n(C_5H_7NO_2) + n(x - 5)CO_2 + 0{,}5n(y - 4)H_2O - \Delta W; \qquad (10.2)$$

окисления клеточного материала

$$n(C_5H_7NO_2) + 5nO_2 \rightarrow 5nCO_2 + 2nH_2O + \\ + nNH_3 + \Delta W. \qquad (10.3)$$

где $(C_xH_yO_z)$, $(C_5H_7NO_2)$ — эмпирические формулы соответственно органических загрязнений и бактериальной клетки; x, y, z — стехиометрические коэффициенты, зависящие от вида загрязнения.

Биологическим путем обрабатываются, подвергаясь частичной или *полной деструкции, многие виды органических загрязнений городских* и производственных сточных вод. Однако в сточных водах иногда присутствуют и такие вещества, которые при этом практически не окисляются: некоторые углеводороды, сложные эфиры, «жесткие» синтетические поверхностно-активные вещества, красители и др. *Кроме основных элементов состава бактериальной клетки (C, N, O, H)* для ее построения необходимы также определенные количества фосфора, калия и других элементов. В отечественной практике при

обработке городских сточных вод используется соотношение $БПК_{полн}:N:P = 100:5:1$. Процесс прироста биомассы носит стадийный характер (рис. 10.1). При этом различают следующие основные фазы развития микроорганизмов: латентную или лаг-фазу, во время которой микроорганизмы приспосабливаются к новой питательной среде; экспоненциальную или логарифмическую фазу роста (в логарифмических координатах описывается наклонной линией); замедленного роста; стационарного роста; фазу отмирания или внутриклеточного самоокисления.

При внесении микробной культуры в питательную среду клетка вступает в лаг-фазу, продолжительность которой зависит от степени адаптированности микроорганизмов к питательной среде. В значительной части лаг-фазы скорость роста постепенно возрастает до своей максимальной величины, которая достигается к началу следующей фазы развития — экспоненциальной. Зависимость скорости роста микроорганизмов от концентрации биомассы S и питательной среды L имеет следующий вид:

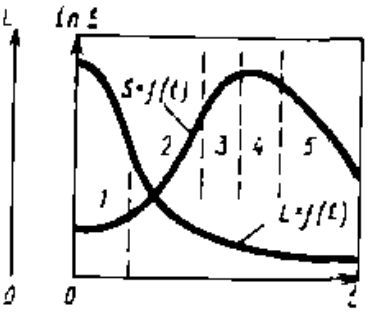


Рис. 10.1. Взаимосвязь между ростом массы S бактериальной культуры и концентрацией L питательной среды:
1, 2, 3, 4, 5 — фазы развития микроорганизмов

$$dS/dt = f(L, S). \qquad (10.4)$$

Фаза экспоненциального роста является периодом самого быстрого развития микроорганизмов, когда питательные вещества присутствуют в избытке, а развитие не тормозится продуктами обмена веществ. Скорость роста биомассы для данной фазы описывается уравнением

$$dS/dt = \mu S, \qquad (10.5)$$

где μ — максимальная удельная скорость роста.

Решение данного уравнения имеет вид

$$\ln S_t/S_0 = \mu t \text{ или } S_t = S_0 e^{\mu t},$$

где S_0, S_t — начальная и текущая концентрации биомассы.

Связь между $\ln S_t/S_0$ и временем t выражается прямой линией с тангенсом угла наклона к оси t, равным μ.

В замкнутой системе питательные вещества постепенно исчерпываются и недостаток их становится лимитирующим фактором роста клеток или же происходит накопление продуктов обмена, тормозящих рост клеток. Поэтому для фазы замедленного роста справедливо уравнение Моно

$$dS/dt = \mu SL/(K_L + L). \qquad (10.6)$$

где L — концентрация питательных веществ (субстрата); K_L — константа полунасыщения.

Решение данного уравнения имеет вид

$$\ln S_t/S_0 = t\mu L/(K_L + L) \text{ или } S_t = S_0 \exp[t\mu L/(K_L + L)].$$

Связь между $\ln S_t/S_0$ и временем t выражается кривой, так как концентрация питательных веществ L в течение данной фазы переменна. При больших значениях L отношение $L/(K_L + L) \to 1$, а уравнение (10.6) приближается к уравнению (10.5).

В фазе стационарного роста существует равновесие между появлением новых и распадом отмерших клеток. Количество биомассы некоторое время находится на одном уровне. Затем стационарная фаза переходит в фазу отмирания, когда кривая роста идет вниз. Скорость убыли биомассы для данной фазы описывается уравнением

$$dS/dt = -\mu_2 S, \qquad (10.7)$$

где μ_2 — удельная скорость отмирания микроорганизмов.

Решение данного уравнения имеет вид

$$\ln S_t/S_0 = -\mu_2 t \text{ или } S_t = S_0 e^{-\mu_2 t}.$$

Связь между $\ln S_t/S_0$ и временем t выражается прямой линней с тангенсом угла наклона к оси t равным $-\mu_2$.

Однако кривая роста еще не полностью отражает все изменения, происходящие в культуре. Вслед за изменением состава среды происходит физиологическое изменение клеток, когда они проходят определенный цикл развития от момента образования и «молодости» до «старости» и отмирания.

Роль ферментов в процессах очистки. Органические загрязнения сточных вод обычно находятся в растворенном, коллоидном и нерастворенном состояниях. Микроорганизмы могут использовать питательные вещества лишь в виде молекул-мономеров, находящихся в водном растворе. *Первый этап — сорбционное изъятие активным* илом или биопленкой загрязнений из сточных вод — происходит быстрее процесса их биохимического окисления. Второй этап очистки — внеклеточная переработка бактериями загрязнений с помощью выделяемых ими в больших количествах пищеварительных ферментов или экзоферментов. Пищеварительные, главным образом гидролитические, ферменты контактируют с крупными частицами веществ и осуществляют гидролитическое расщепление сложных молекул органических веществ до более простых, небольших по размеру молекул, которые затем проходят через оболочку клетки и поступают в ее протопласт. Третий этап очистки — внутриклеточная переработка (ассимиляция) органических веществ и получение

необходимой энергии с помощью внутренних пищеварительных ферментов (эндоферментов) с образованием диоксида углерода, воды и окисленных форм азота. На рис. 10.2 схематично показано усвоение целлюлозы $(C_6H_{10}O_5)_n$, которая ферментом целлюлазой вначале переводится в целлобиозу $C_{12}H_{22}O_{11}$, а затем ферментом целлобиазой — в глюкозу $C_6H_{12}O_6$, которая легко проникает в клетку и усваивается ею.

Синтез ферментов происходит внутри бактериальной клетки. По своей природе ферменты — белковые вещества. Считается, что белок фермента связывается с молекулой субстрата в одной или нескольких точках и растягивает субстрат таким образом, что внутримолекулярные связи ослабевают. В образовании ферментов заключается основной смысл присутствия микроорганизмов в сооружениях биологической очистки сточных вод. Различают шесть основных классов ферментов: оксидоредуктазы, трансферазы, гидролазы, лиазы, изомеразы и лигазы. Полный состав ферментов, необходимый для очистки сточных вод, пока не выяснен. Вероятно, в процессе диссимиляции загрязнений сточной воды участвуют ферменты всех шести основных классов, однако для процессов окисления органических соединений особенно важны оксидоредуктазы. К этой группе ферментов относятся: дегидрогеназы, отнимающие водород от окисляемого субстрата; каталазы, расщепляющие перекись водорода; пероксидазы, использующие активированные перекиси для окисления различных соединений.

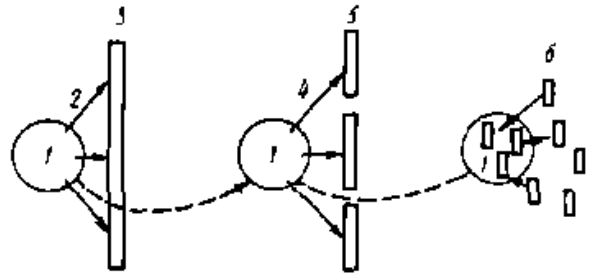


Рис. 10.2. Схема усвоения бактериальной клеткой сложного вещества на примере целлюлазы:
1 — клетка; 2 — фермент целлюлазы; 3 — целлюлоза; 4 — фермент целлобиазы; 5 — целлобиоза; 6 — глюкоза

Процесс биологического окисления состоит из множества ступеней и начинается с расщепления органического вещества с выделением активного водорода. Такой вид окисления называется непрямым или дегидрированием. Сущность действия ферментов заключается в том, что они снижают энергию активации или свободную энергию, необходимую для разрыва углеродной связи органического соединения. Это становится возможным потому, что катализатор-фермент способствует образованию промежуточных продуктов, требующих меньшей энергии активации. Изменяющийся состав сточных вод требует времени и определенных условий на индуцирование ферментов, поэтому в очищенной воде после аэротенков или биофильтров обычно присутствуют остаточные органические загрязнения.

Активный ил и его свойства. По внешнему виду активный ил представляет собой темно-коричневую или черную жидкую массу,

обладающую землистым запахом, которая при отстаивании образует оседающие хлопья темно-коричневого или серого цвета. С биологической точки зрения активный ил представляет собой скопление аэробных бактерий в виде зооглей. Кроме микробов в активном иле аэротенков присутствуют простейшие, а в биопленке — обычно черви, личинки насекомых, водные клещи. Активный ил может быть получен из сточных вод в результате длительного (15 ... 25 дней) аэрирования, отстоя, а биопленку обычно получают в результате столь же длительного орошения сточными водами загрузки биофильтра.

Основная роль в процессах очистки сточных вод принадлежит бактериям, число которых в расчете на 1 г сухого вещества ила колеблется от 10^8 до 10^{14} клеток. При очистке многих видов сточных вод, в том числе бытовых, обычно доминируют бактерии рода *Pseudomonas* — грамотрицательные палочки. В зависимости от условий существования ила в нем развиваются от одного до нескольких (5 ... 8) родов бактерий, идентификация которых представляет собой сложную задачу. Наличие в иле большого количества зооглей с древовидно-разветвленными тяжами сопровождается плохим уплотнением активного ила (вспуханием), что вызывает большие трудности при эксплуатации очистных сооружений и значительное повышение концентрации взвешенных веществ в очищенной жидкости. Считается, что вспухание ила, вызываемое *Zooglea ramigera*, связано с недостатком кислорода, а появление во вспухшем иле нитчатых бактерий рода *Cladothrix* вызвано изменениями состава питательной среды или режима нагрузок.

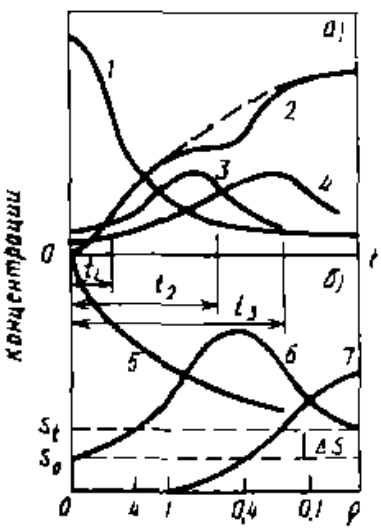


Рис. 10.3. Схема углеродного (*а*) и азотного (*б*) питания активного ила при очистке городских сточных вод:
а — удельная нагрузка в г БПК полн на 1 г ила в сутки; *1* — органический субстрат; *2* — потребление кислорода; *3* — бактерии; *4* — простейшие; *5* — аммонийный азот; *6* — общая биомасса; *7* — нитриты и нитраты

Существует несколько типов взаимоотношений между микроорганизмами; подавление, конкуренция за пищу, хищничество, паразитизм и симбиоз. Все они в отдельности и в комбинации наблюдаются в активном иле. Взаимоотношения между простейшими и бактериями строятся по схеме «хищник — жертва», но ведущая роль в очистке сточных вод принадлежит бактериям. Пожирая бактерий, простейшие тем самым способствуют омоложению биопопуляции, поддерживают экологическое равновесие в системе. При высоких нагрузках и низкой степени очистки сточных вод в активном иле аэротенков преобладают бактерии и некоторые бесцветные жгутиковые (рис. 10.3). При высокой степени очистки и невысоких нагрузках

количество свободно плавающих бактерий уже невелико, но появляются простейшие, деятельность которых стимулирует образование хорошо оседающего илового хлопка. Рост простейших обычно заметно отстает от бактериального роста, что вызывает развитие характерного плато на графике потребления кислорода. Ход пунктирной линии на кривой потребления кислорода отражает вариант процесса в биологической системе при отсутствии хищников. Интервалы обработки загрязнений t_1, t_2 и t_3 соответствуют характеру работы высоконагружаемых, обычных и низконагружаемых (полного окисления) аэротенков.

Активный ил аэротенков и биопленка биофильтров идентичны по составу, но отличаются количественными соотношениями микроорганизмов. В отличие от свободно плавающей микрофлоры аэротенков в биопленке преобладают прикрепленные формы. В биофильтрах с объемной загрузкой в верхних слоях развиты факультативные и анаэробные бактерии (в связи с повышенной

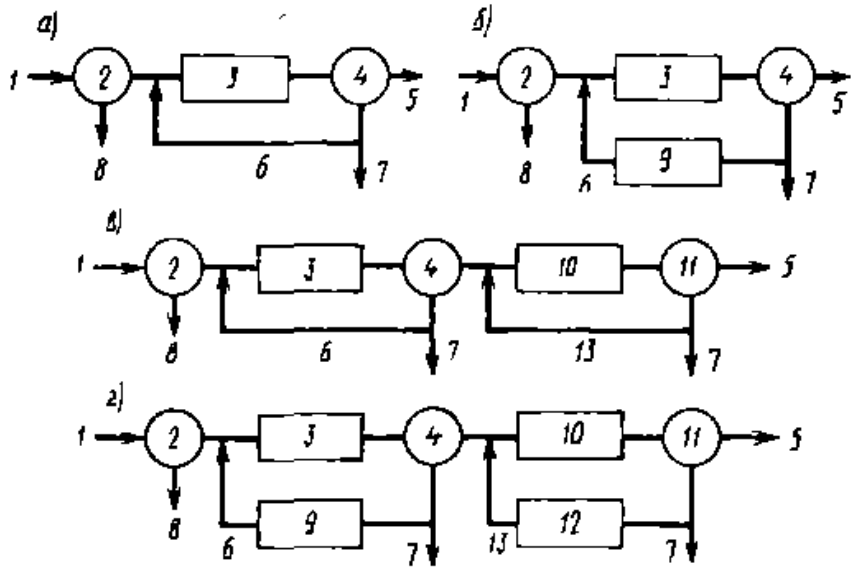


Рис. 10.4. Схема очистки сточных вод в аэротенках:

а, б — одноступенчатые; в, г — двухступенчатые (а, в — без отдельной регенерации ила; б, г — с отдельной регенерацией ила); 1 — исходная сточная вода; 2 — первичный отстойник; 3 — аэротенк первой ступени; 4 — вторичный отстойник; 5 — очищенная сточная вода; 6 — возвратный активный ил первой ступени; 7 — избыточный активный ил; 8 — сырой осадок; 9 — регенератор первой ступени; 10 — аэротенк второй ступени; 11 — третичный отстойник; 12 — регенератор второй ступени; 13 — возвратный ил второй ступени

нагрузкой и дефицитом растворенного кислорода). Средние слои биофильтра характеризуются меньшим накоплением биомассы и большим видовым разнообразием микроорганизмов. В нижних слоях биофильтра наблюдается большое видовое разнообразие микроорганизмов при низкой общей их биомассе. Грибы и нитчатые бактерии практически отсутствуют, многочисленны крупные и щетинконогие черви.

10.2. Аэротенки. Общие сведения

Аэротенки представляют собой открытые резервуары, через которые медленно протекают подвергающиеся аэрации сточные воды, смешанные с активным илом. Эффект биологической очистки сточных вод обеспечивается постоянным перемешиванием смеси сточных вод с активным илом и непрерывной ее аэрацией на всем протяжении аэротенка. Подача кислорода в аэротенки может производиться воздухонагнетателями, механическими или струйными аэраторами.

По количеству ступеней очистки различают одно- и многоступенчатые аэротенки (рис. 10.4). Ступенчатая очистка в аэротенках

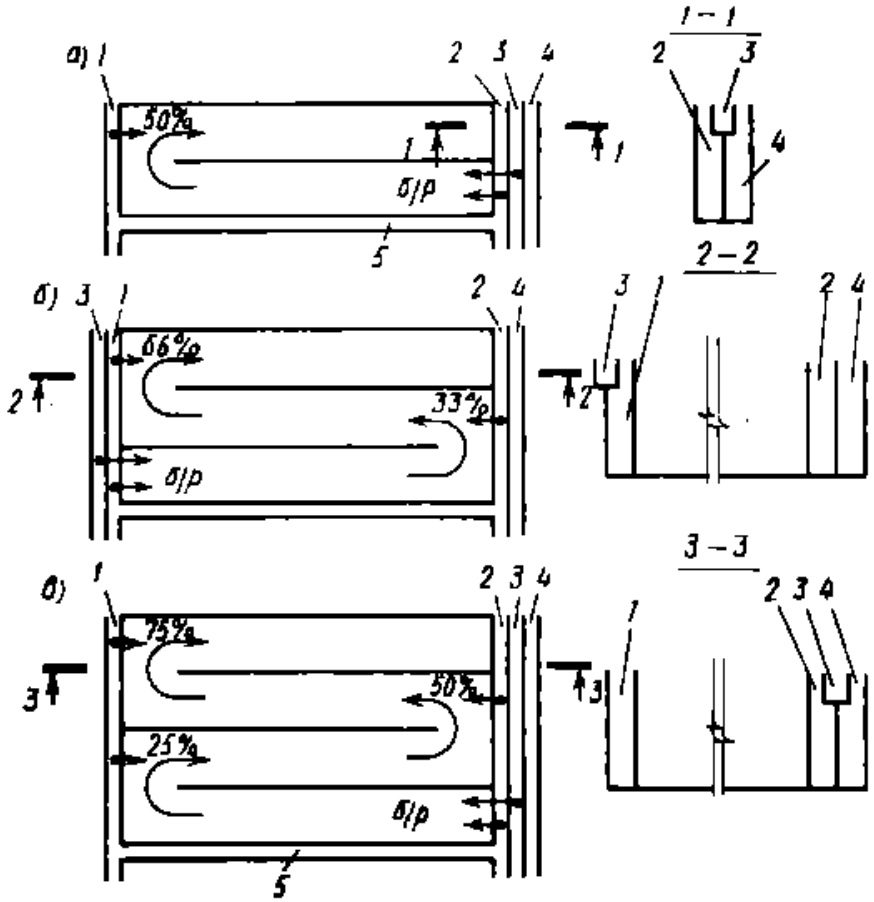


Рис. 10.5. Схемы коридорных аэротенков с регенераторами:
а — двухкоридорный; б — трехкоридорный; в — четырехкоридорный; 1 — верхний канал сточных вод; 2 — нижний канал сточных вод; 3 — канал возвратного ила; 4 — канал водоиловой смеси; 5 — перепускной канал; б/р — без отдельного регенератора

применяется в основном для очистки производственных сточных вод, отличающихся как высокими концентрациями органических загрязнений, так и наличием трудноокисляемых соединений. При этом в качестве первой ступени очистки применяют аэротенк-смеситель

(обычно с регенератором), а в качестве второй ступени — аэротенк-вытеснитель.

Схема работы аэротенков с отдельной регенерацией активного ила (рис. 10.5) основана на разнице скоростей двух процессов — сорбционного изъятия загрязнений активным илом и их биохимического окисления. *Для городских сточных вод эта схема работы* обычна, поскольку скорость сорбционного процесса в 2 ... 5 раз выше скорости окисления загрязнений. При обеспечении той же продолжительности окисления, что и в одноступенчатом аэротенке, для аэротенка с регенератором требуется меньший рабочий объем сооружений. Аэротенки данного типа снабжены с торцов двумя аэрируемыми каналами *для осветленных сточных вод, поступающих* из первичных отстойников, позволяющими производить впуск жидкости с любой из сторон. Эти каналы соединены между собой перепускным каналом 5. *С низовой стороны предусмотрен канал 4*, куда поступает из аэротенка смесь сточных вод с активным илом. *Из этого канала* смесь направляется во вторичные отстойники. *Двухкоридорные аэротенки позволяют применять схему с 50%-ным* объемом регенератора от общего объема аэрационных сооружений, трехкоридорные аэротенки — с 33 и 66%-ным, четырехкоридорные аэротенки — с 25, 50 и 75%-ным. *Аэротенки с рассредоточенной* по длине коридора подачей сточных вод позволяют гибко варьировать *объем регенераторов* в широких пределах.

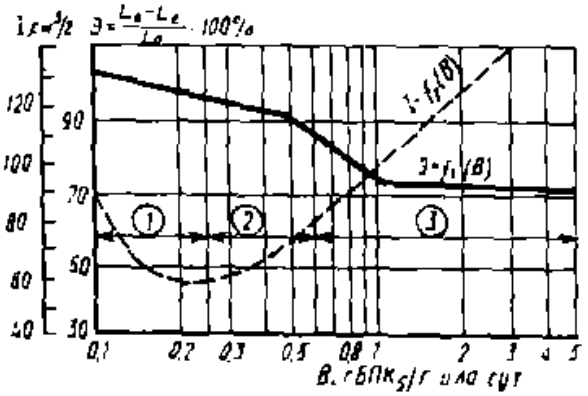


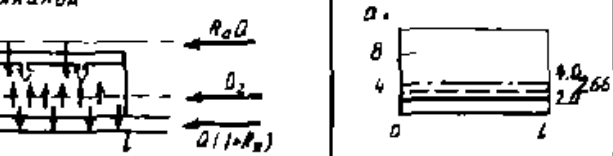
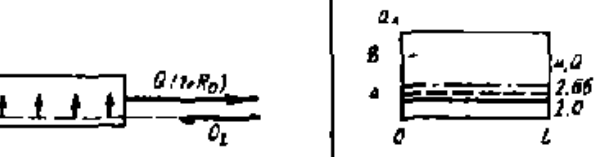
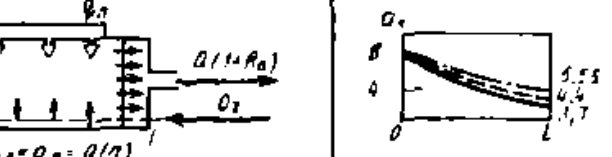
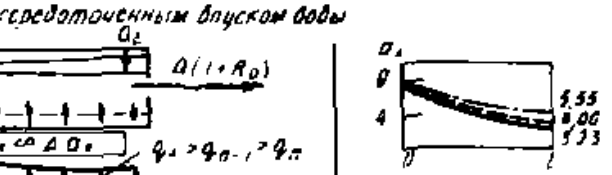
Рис. 10.6. Эффект очистки сточных вод в аэротенках Э и иловый индекс *I* в зависимости от нагрузки *B* на активный ил:

1 — аэротенки продленной аэрации; 2 — аэротенки на полную очистку; 3 — аэротенки на неполную очистку (высоконагружаемые)

Аэротенки обычно рассчитывают на полную биологическую очистку со снижением $БПК_{полн}$ сточной воды до 15 *мг/л*. *При* благоприятных местных условиях или в пусковой период предусматривается неполная очистка стока. Частичная очистка сточных вод широко применяется в зарубежной практике. В зависимости от нагрузки на активный ил различают аэротенки продленной аэрации, на полную очистку, на неполную очистку (высоконагружаемые), рис. 10.6. Слабоконцентрированные по взвешенным веществам сточные воды можно направлять в аэротенки без предварительного отстаивания. Эксплуатация очистных сооружений в этом случае упрощается.

По структуре потоков различают: аэротенки-вытеснители, в которых сточная вода и возвратный ил выпускаются сосредоточенно с одной из торцовых сторон аэротенка и выходят также сосредо-

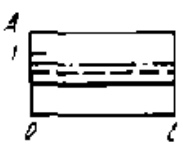
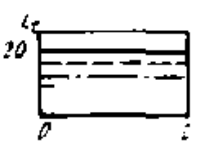
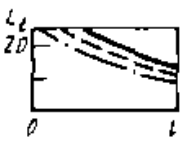
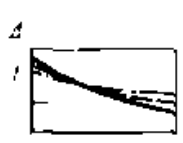
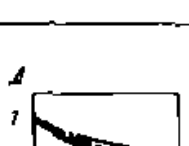
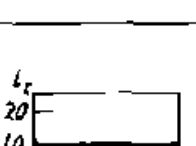
Таблица 10.1. Распределение параметров процесса очистки сточных вод

Тип аэротенка	Концентрация активного ила a_i, г/л
Аэротенк-смеситель на базе кинетики	
Аэротенк-вытеснитель	
Аэротенк с рассредоточенным впуском сточной воды а) Равномерного смешения ($q_1 = q_n = q/n$) б) Последовательного смешения ($q_1 < q_{n-1} < q_n$)	
Аэротенк с неравномерно рассредоточенным впуском воды	

Примечание. В таблице приняты следующие дополнительные условные обозначения: l — длина аэротенка; x — текущая координата длины; n — число впусков сточных вод; q — расход сточных вод через отдельный впуск; R_0 — степень рециркуляции активного ила; сплошные линии — $R_0 = 0{,}33$; пунктирные — $R_0 = 0{,}5$, штрих-пунктирные — $R_0 = 1$.

точенно с другой торцовой стороны сооружения; аэротенки-смесители, в которых подвод и отвод сточной воды и ила осуществляются равномерно вдоль длинных сторон коридора аэротенка, в результате чего происходит быстрое смешение поступающей сточной воды с находящейся в аэротенке; аэротенки с рассредоточенной подачей сточной воды, которая выпускается в нескольких точках по длине аэротенка (равномерно или в определенных соотношениях), а отводится сосредоточенно в его торцовой части, тогда как возвратный ил подают сосредоточенно в начало аэротенка. Характер распределения основных параметров процесса по длине сооружений представлен в табл. 10.1. За рубежом большое распространение получили круглые или квадратные в плане аэротенки-смесители, оборудованные механическими или пневмомеханическими аэраторами. Применение аэротенков-смесителей целесообразно при очистке высококон-

В аэротенках *Таблица 10.1*

Нагрузка на ил B, кг/(кг·сут)	Дефицит кислорода D	Остаточное загрязнение L_t, мг/л
		
		
		
		

центрированных производственных сточных вод, состав и приток которых на очистную станцию подвержены резким колебаниям.

Объем аэротенка

$$W_a = t_a \bar{q}_{ср}, \tag{10.8}$$

где t_a — период аэрации; $q_{ср}$ — среднечасовой расход воды за период аэрации в часы максимального притока.

Период аэрации определяют по формуле

$$t_a = \frac{L_a - L_t}{a(1-s)\rho}, \tag{10.9}$$

где L_a, L_t — БПК$_{полн}$ поступающей (с учетом снижения БПК при первичном отстаивании) и очищенной сточной воды соответственно, мг/л; a — доза ила в аэротенке, 1,5 ... 2 г/л; s — зольность ила, обычно равная 0,3; ρ — удельная скорость окисления мг/(г·ч), определяемая по формуле

$$\rho = \rho_{max} L_t C_a / (L_t C_a + K_L C_a + K_a L_t) 1/(1+\varphi a). \tag{10.10}$$

где ρ_{max} — максимальная скорость окисления, мг/(г.ч); K_L — константа, характеризующая состав сточных вод, мг/л; K_0 — константа, характеризующая влияние кислорода, мг/л; C_0 — концентрация растворенного кислорода мг/л; φ — коэффициент ингибирования, л/г.

Для полной очистки городских сточных вод $L_t = 15$ мг/л. $C_0 = 2$ мг/л; $\rho_{max} = 85$ мг/(г·ч), $K_0 = 0{,}625$ мг/л, $K_L = 33$ мг/л, $\varphi = 0{,}07$ л/г, ρ находится в пределах 20 ... 22 мг/(г·ч).

При проектировании аэротенков с регенераторами продолжительность окисления органических загрязнений

$$t_0 = \frac{L_0 - L_t}{R a_p (1 - s)\rho}. \qquad (10.11)$$

где R — степень рециркуляции активного ила в долях единицы; a_p — концентрация ила в регенераторе, г/л.

Для полной очистки ($L_t = 15$ мг/л) городских и близких к ним по составу промышленных сточных вод $R = 0{,}5$, а $a_p = 4$ г/л. Период аэрации в аэротенке

$$t_a = \frac{2{,}5}{\sqrt{a}} \lg \frac{L_0}{L_t}. \qquad (10.12)$$

Продолжительность регенерации t_p определяется разностью $t_p = t_0 - t_a$. Вместимость аэротенка

$$W_a = t_a (1 + R)\bar{q}_{ср}. \qquad (10.13)$$

Вместимость регенераторов $W_p = t_p R \bar{q}_{ср}$. Процент общего объема, занятый регенераторами («процент регенерации»),

$$p = W_p 100/(W_p + W_a).$$

10.3. Система аэрации сточных вод

Система аэрации представляет собой комплекс устройств и оборудования, обеспечивающих подачу и распределение воздуха (кислорода) в аэротенке, поддержание активного ила во взвешенном состоянии и создание необходимых гидродинамических условий работы аэротенков. В зависимости от способа подачи и распределения кислородсодержащего газа в аэротенках аэраторы подразделяются на: пневматические, механические, пневмомеханические и струйные.

Пневматическая система аэрации предполагает подачу сжатого кислородсодержащего газа (воздуха, технического кислорода) по магистральным и распределительным трубопроводам к различного рода диспергаторам, установленным в аэрационных сооружениях. В

зависимости от давления на выходе различают аэраторы низкого (до 10 кПа), среднего (нормального) (10 ... 50 кПа) и высокого (свыше 50 кПа) давления. В зависимости от размера образующихся на выходе из диспергаторов пузырьков воздуха различают аэраторы тонкого диспергирования (мелкопузырчатые), среднепузырчатые и крупнопузырчатые. *Аэрация мелкими (диаметром до 4 мм) пузырьками* обеспечивает эффективность растворения кислорода воздуха в пределах 2 ... 2,5 кг/кВт·ч, а аэрация средними и крупными пузырьками — до 1,2кг/кВт·ч. Аэрация тонкодиспергированным воз-

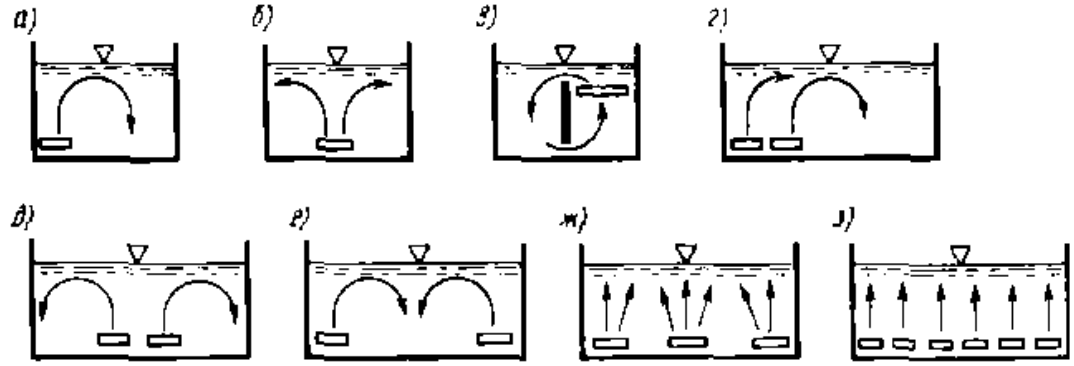


Рис. 10.7. Варианты расположения пневматических аэраторов из фильтросных пластин в поперечном сечении аэротенка:

а, б — однорядное; — низконапорная аэрация; в, д, е — двухрядное, ж — трехрядное; з — многорядное (сплошное)

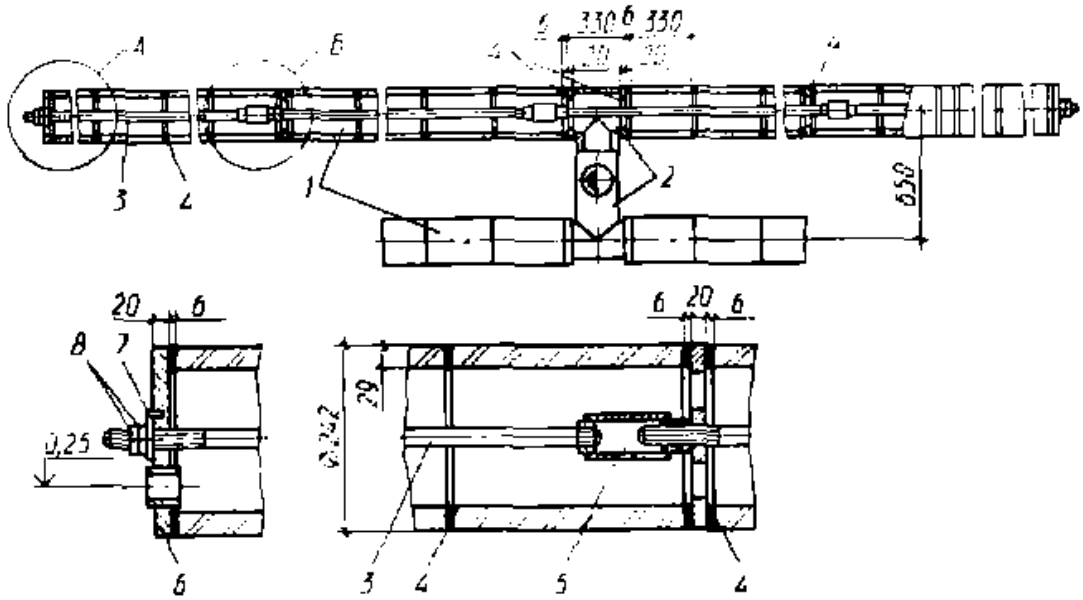


Рис. 10.8. Аэратор из пористых керамических труб:

1 — пористые трубы; 2 — крестовина; 3 — стяжка; 4 — резиновые прокладки; 5 — винтовая втулка; 6 — заглушка; 7 — стопорная шайба; 8 — гайка и контргайка

духом осуществляется через пористые керамические, тканевые или пластмассовые диспергаторы (рис. 10.7), которые укладываются на дне аэротенка. Одним из наиболее распространенных типов аэратора является фильтросная пластина размером 300х300х35 мм из огнеупорного дробленого шамота, смешанного с силикатом натрия. Распространение получают также аэраторы из фильтросных труб (рис. 10.8), которые удобны тем, что их можно извлекать из воды

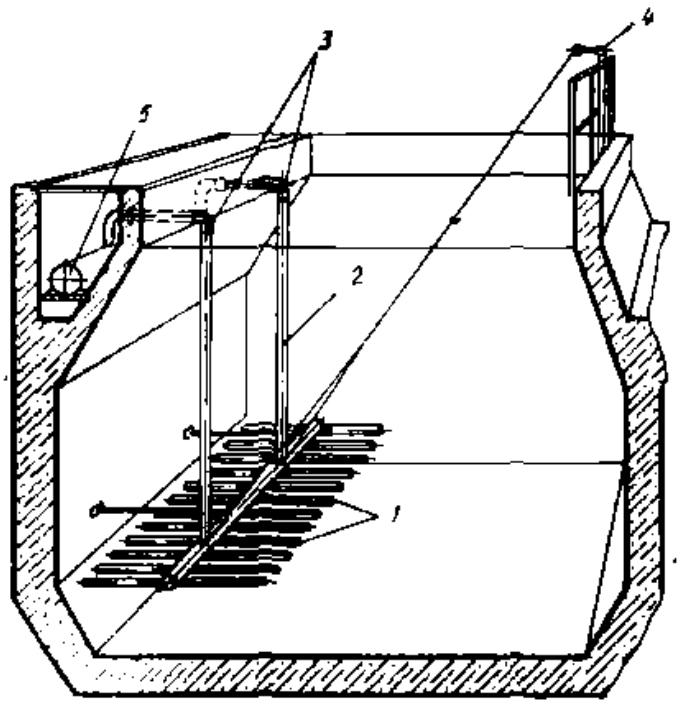


Рис. 10.9. Аэрационный агрегат из подъемных пористых труб:
1 — воздушная магистраль; *2* — шарниры; *3* — воздушные стояки; *4* — переносная лебедка; *5* — пористые трубы

отдельными секциями для профилактики и ремонта (рис. 10.9).

Удельный расход воздуха, $м^3/м^3$, сточной жидкости, помимо методики, рекомендованной СНиП, может быть определен по формуле

$$q_в = \frac{q_0(L_a - L_t)100}{A_c m 1000}, \qquad (10.14)$$

где q_0 — удельный расход кислорода, мг/мг $БПК_{полн}$, равный 0,9 ... 1,5 (большие значения соответствуют полной очистке); L_0, L_t — $БПК_{полн}$ соответственно поступающей и очищенной сточной жидкости, мг/л; A_c — степень использования кислорода воздуха, %; m — масса кислорода в 1 $м^3$ воздуха при данной температуре, t°С, (табл. 10.2).

Таблица 10.2. **Содержание кислорода в воздухе в зависимости от температуры**

Температура t, °С	10	15	20	25	30
Масса кислорода m в 1 м^3 воздуха, кг	0,288	0,283	0,278	0,273	0,269

Степень использования кислорода воздуха в аэротенках

$$A_c = k_н k_c k_к A, \qquad (10.15)$$

где A — степень использования кислорода в чистой воде (табл. 10.3); $k_н$ — *коэффициент истощения газовой среды, учитывающий*

Таблица 10.3. **Эффективность растворения кислорода воздуха в чистой воде**

Глубина на аэротенке H, м	Степень использования кислорода воздуха A, %, в чистой воде при t = 15° С				
	2*	4	6	8	10
0,5	4,9	1,7	0,95	0,6	0,4
1	10,1	3,6	1,95	1,3	0,9
1,5	15,7	5,5	3	2	1,4
2	21,5	7,6	4,1	2,7	1,9
2,5	27,6	9,7	5,3	3,4	2,5
3	33,9	12	6,5	4,2	3
3,5	40,6	14,35	7,8	5,1	3,6
4	47,6	16,8	9,15	5,9	4,2
4,5	54,8	19,4	10,6	6,85	4,9
5	62,3	22	12	7,8	5,6

* Средний диаметр воздушного пузырька $d_{ср}$, мм.

убыль кислорода по мере подъема воздушных пузырьков (табл. 10.4); k_c — коэффициент струйности аэрации, учитывающий сокращение времени газожидкостного контакта в реальных условиях; $k_к = 0,7 \ldots 0,8$ — *коэффициент, характеризующий качество жидкостной* среды (вид сточных вод и концентрацию водоиловой смеси).

В реальных аэротенках при использовании аэраторов тонкого диспергирования крупность пузырьков воздуха соответствует $d_{ср} = 4 \ldots 6$ мм.

Таблица 10.4. **Значения коэффициента кислородного истощения воздушных пузырьков**

A, %	1,5 ... 2	4 ... 5	7 ... 8,5	11 ... 12	15	20	25
$k_н$	0,99	0,97	0,95	0,93	0,91	0,87	0,83

Коэффициент струйности аэрации

$$k_c = \sqrt{v_1/v} = \sqrt{v_1/0{,}13(JF/l)^{0.3}}, \qquad (10.16)$$

где v_1 – средняя скорость подъема воздушных пузырьков, 0,25 м/с; v — скорость циркуляции жидкости в аэротенке м/с (рис. 10.10); J — интенсивность аэрации, $м^3/м^2 \cdot ч$; F/l — отношение площади зеркала аэротенка к поверхности аэраторов.

Степень использования A_c кислорода воздуха в аэротенках может быть также определена с помощью рис. 10.10. Данный метод позволяет определять удельный расход воздуха q в зависимости от размеров воздушных пузырьков, что дает более точные результаты.

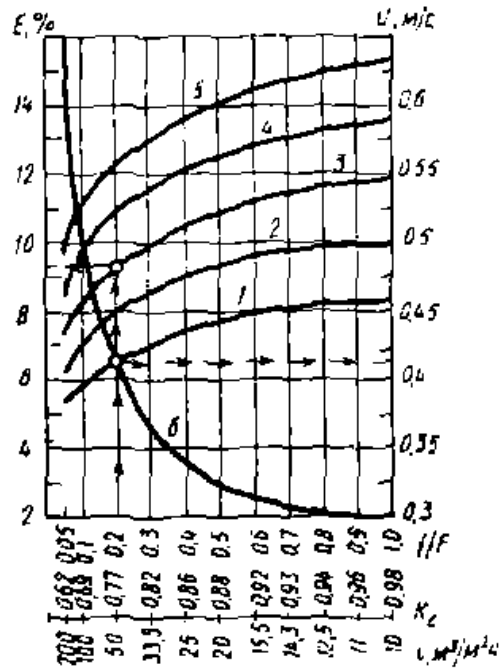


Рис. 10.10. Зависимость степени использования E кислорода воздуха (кривые 1...5) и скорости v подъема водовоздушной среды (кривая 6) относительно ширины l/F аэрационной полосы в аэротенке:
$C = 2$ мг/л; $J = 10$ $м^3/м^2 \cdot ч$; $t = 15°$ С; $k_H = 0{,}9$; $k_H = 0{,}8$; 1 — $H = 5$ м; 2 — $H = 3{,}5$ м; 3 — $H = 4$ м; 4 — $H = 4{,}5$ м; 5 — $H = 5$ м

Механическая система аэрации. Механические аэраторы разнообразны по конструктивному оформлению, но принцип их работы практически одинаков: вовлечение атмосферного воздуха и введение его в контакт с жидкостной фазой (содержимое аэротенка) вращающимися частями аэратора. Механические аэраторы обладают целым рядом преимуществ перед аэраторами пневматическими. Они обладают более высокой окислительной способностью, эффективность растворения кислорода достигает 2,5 ... 3,5 кг O_2/кВт·ч, а их установка не требует строительства и эксплуатации воздуховодных станций. К недостаткам механических аэраторов относится необходимость при значительных размерах сооружений установки большого числа рабочих единиц, потребность в дефицитном оборудовании (редукторы, мотор-редукторы), а также проблемы, связанные с качеством изготовления.

На практике получили распространение аэраторы механические поверхностные вертикальные типа МП, рабочий орган которых выполнен в виде кольца с лопастями, соединенного со ступицей жесткими спицами (рис. 10.11). Основные показатели аэраторов типа МП представлены в табл. 10.5,

а их обозначения расшифровываются следующим образом: МП-15-1,5 — аэратор диаметром 1,5 м с мотор-редуктором мощностью 15 кВт.

Таблица 10.5. Характеристика механических поверхностных аэраторов

Тип аэратора	Производительность по кислороду, кг/ч	Установленная мощность, кВт	Частота вращения, мин$^{-1}$	Основные размеры, мм		
				H	h	d_a
МП 7,5-1,25	11	7,5	59	2800	1520	1250
МП 1,5-1,5	15	15	49	3000	1720	1500
МП 37-2	50	37	49	3360	2080	2000

Число аэраторов n для аэротенков и биологических прудов в соответствии со СНиП 2.04.03—85

$$n = \frac{q_0(L_a - L_t)Q}{1000 k_t k_x (C_a - C)/C_a q_a}, \qquad (10.17)$$

где Q — расход сточных вод, м^3/ч; q_a — производительность аэратора по кислороду, кг/ч, принимаемая по табл. 10.5 или по паспортным данным; $k_T = 1 + 0{,}02(\tau - 20)$ — коэффициент, учитывающий температуру сточных вод; здесь τ — среднемесячная температура воды за летний период, °С; k_x — коэффициент качества воды, принимаемый для городских сточных вод равным 0,85; $C_a = (1 + h_a/20{,}6)C_T$ — растворимость кислорода воздуха в воде, мг/л, с учетом гидростатического давления h_a (глубина нагружения аэратора, м); здесь C_T — предел насыщения жидкости в зависимости от ее температуры t°С при нормальном атмосферном давлении, принимается по табл. 10.6; C — средняя концентрация кислорода в аэротенке или биологическом пруду, обычно принимаемая равной 2 мг/л.

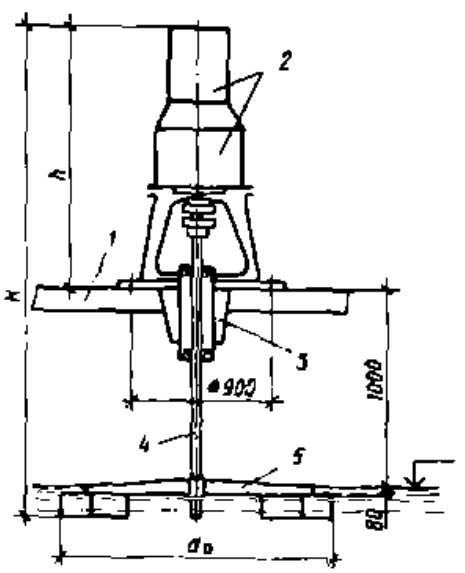


Рис. 10.11. Аэратор механический поверхностный типа МП:
1 — рама; 2 — мотор-редуктор; 3 — муфта; 4 — вал; 5 — рабочий орган

Таблица 10.6. **Растворимость кислорода воздуха в зависимости от температуры**

$t, ^oC$	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
C_t, мг/л	11,84	11,27	10,75	10,26	9,82	9,4	9,02	8,67	8,33	8,02

Зоны действия механических аэраторов в плане:
для аэротенков, м,

$$B=0,5(\omega_a/u)\sqrt{bpd_a^{3,5}/\mu H}; \quad (10.18)$$

для биологических прудов, м,

$$B=30(\omega_a/u^2)\sqrt{\nu d_a^{3,5}/H}, \quad (10.19)$$

где d_a — диаметр рабочего органа аэратора, м; u — расчетная донная скорость, принимаемая равной 0,15 и 0,05 м/с для аэротенков и биологических прудов соответственно; w_a — угловая скорость вращения аэротора, $с^{-1}$; b — размер иловой частицы, равный 0,01 м; ρ — плотность воды, равная 1000 кг/м^3; ν — кинематическая вязкость сточной жидкости, м^2/с, принимаемая по табл. 10.7.

Таблица 10.7. **Кинематическая вязкость сточной жидкости в зависимости от температуры**

$t, ^oC$	6	8	10	12	14
ν, м^2/с	$1,67\cdot10^{-6}$	$1,64\cdot10^{-6}$	$1,54\cdot10^{-6}$	$1,45\cdot10^{-6}$	$1,36\cdot10^{-6}$
$t, ^oC$	16	18	20	22	24
ν, м^2/с	$1,29\cdot10^{-6}$	$1,22\cdot10^{-6}$	$1,16\cdot10^{-6}$	$1,1\cdot10^{-6}$	$0,8\,10^{-6}$

Пневмомеханическая (комбинированная) система аэрации основана на использовании механической энергии вращающегося ротора для дробления пузырьков сжатого воздуха, подводимого под него, и эффективного перемешивания содержимого аэротенка. В некоторых случаях дополнительно устанавливается верхняя крыльчатка, которая вовлекает в жидкость атмосферный воздух и увеличивает общую скорость растворения кислорода. Эффективность пневмомеханических аэраторов обычно не превышает 2 кг O_2/(кВт·ч), так как увеличение скорости растворения кислорода достигается ценой больших энергозатрат. Применяют их для очистки концентрированных сточных вод, а также в комбинированных высокопроизводительных установках аэроакселаторах. Определение количества пневмомеханических аэраторов в аэротенке аналогично механическим поверхностным аэраторам.

Таблица 10.8. Характеристика пневмомеханических аэраторов

Условное обозначение аэраторов	Производительность по кислороду, кг/ч	Расход сжатого воздуха, $м^3/ч$	Установленная мощность, кВт	Частота вращения, мин	Основные параметры, мм		
					H	h	$d_п$
ПМ 22-09	54	90÷50	22	132	7600	3640	900
ПМ 55-1.03	130	1300 50	55	130	8000	3700	1030
ПМ 75-1,12	190	1900 50	75	130	8100	3750	1120

Пневмомеханические аэраторы типа ПМ конструкции ЛенНИИхиммаша серийно выпускаются Моршанским заводом химического машиностроения (рис. 10.12, табл. 10.8).

Обозначения пневмомеханических аэраторов расшифровываются следующим образом: ПМ 55-1,03 — аэратор диаметром 1,03 м с мотор-редуктором мощностью 55 кВт. Эксплуатационные показатели аэраторов ПМ соответствуют аналогичным показателям зарубежных аэраторов подобного типа.

Струйная (эжекторная) система аэрации основана на смешении и обмене энергией двух имеющих разное давление потоков, один из которых рабочий, с образованием смешанного потока с промежуточным давлением. Принцип действия эжекторных аэраторов состоит в подаче рабочей жидкости с повышенной скоростью через сопло в камеру смешения, что обеспечивает разрежение и вызывает подсос (эжекцию) атмосферного воздуха в аппарат через специальный патрубок. Компактная струя жидкости, соударяясь с воздушным потоком, диспергирует воздух, увлекая его в камеру смешения и далее в зону повышенного давления — диффузор. В процессе движения водовоздушная смесь плавно снижает свою скорость, пузырьки газа несколько уплотняются, а жидкость насыщается кислородом. Процесс переноса кислорода воздуха в жидкость

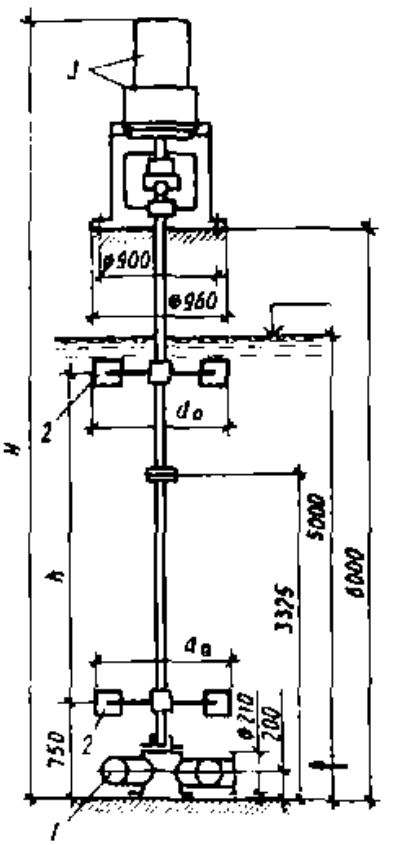


Рис. 10.12. Аэратор пневмомеханический типа ПМ:
1 — кольцевой воздухораспределитель; 2 — турбинка с двумя рядами лопаток; 3 — приводной электродвигатель

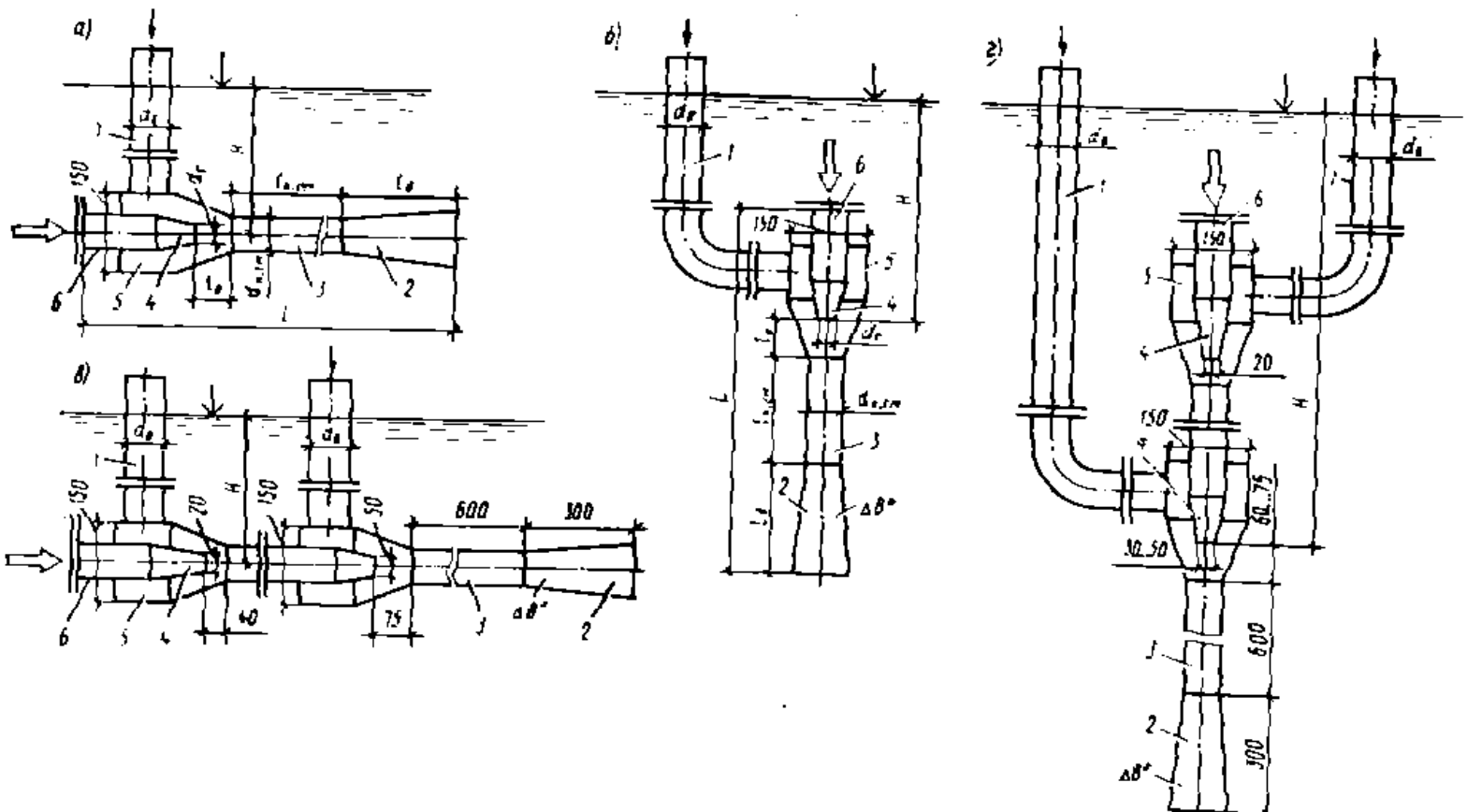


Рис. 10.13. Технологические схемы эжекторных аэраторов:

а — горизонтального одноступенчатого; *б* — вертикального одноступенчатого; *в* — горизонтального двухступенчатого; *г* — вертикального двухступенчатого; *1* — воздухоподающий патрубок; *2* — диффузор; *3* — камера смешения; *4* — сопло; *5* — приемная камера; *6* — напорный коллектор

продолжается и за пределами аэратора до выхода пузырьков воздуха на поверхность. Использование эжекторных аэраторов, несмотря на сравнительно невысокую эффективность растворения кислорода (1 ... 1,5 кг O_2/(кВт·ч) представляет интерес благодаря простоте устройства, удобству эксплуатации, бесшумности и надежности в работе.

Технологические схемы эжекторных аэраторов представлены на рис. 10.13, а их основные размеры — в табл. 10.9.

Таблица 10.9. Основные размеры эжекторных аэраторов

Вариант исполнения	Диаметр, мм			Длина, мм			
	d_c	$d_{к\,см}$	$d_д$	l_0	$l_{к\,см}$	$l_д$	L
№ 1	20	45	100	40	240	210	830
№ 2	30	60	100	60	350	220	950
№ 3	50	100	200	75	600	300	1290

Скорость истечения жидкости из рабочего сопла принимают равной 12 ... 15 м/с. Эффективность работы эжекторного аэратора за счет использования конуса-отражателя размерами 150×200 мм, установленного на расстоянии 250 мм от среза диффузора, может быть повышена на 20%. Окислительная способность (ОС, кг O_2/ч) эжекторных аэраторов

$$ОС = u_0 Q_ж p m A, \qquad (10.20)$$

где u_0 — объемный коэффициент эжекции воздуха; $Q_ж$ — расход рабочей жидкости, м^3/ч; p — объемное содержание кислорода в воздухе (0,209 при нормальных условиях); m — удельный вес кислорода (1,3 кг/м^3 при нормальных условиях); A — степень использования кислорода воздуха в эжекторных аэраторах (8 ... 12%).

Коэффициент объемной эжекции

$$u_0 = 0{,}85\sqrt{\Delta P_c/\Delta P_з} - 1, \qquad (10.21)$$

где ΔP_c — перепад давления в сопле, равный 15 ... 20 м; $\Delta P_з$ — перепад давления, создаваемый аэратором, равный 2 м.

Количество эжекторных аэраторов в аэротенках определяется аналогично количеству механических или пневмомеханических аэраторов. Схемы установки эжекторных аэраторов представлены на рис. 10.14.

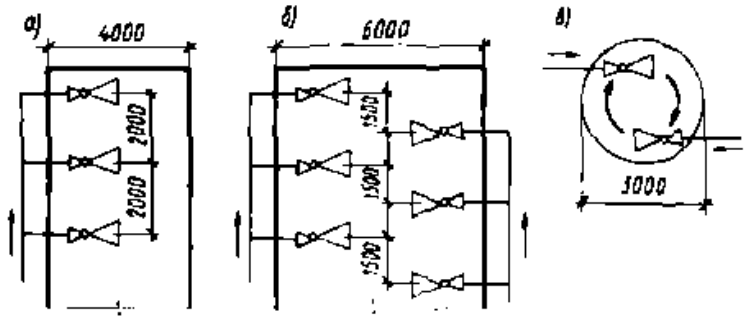


Рис. 10.14. Схемы установки эжекторных аэраторов в аэротенках (план):
а — однорядная; *б* — двухрядная; *в* — тангенциальная

10.4. Аэротенки-вытеснители, аэротенки с рассредоточенным впуском сточных вод

Аэротенки состоят из ряда параллельно работающих секций, объединенных распределительным (верхним) и сборным (нижним) каналами (рис. 10.15). Каждая секция представляет собой резервуар,

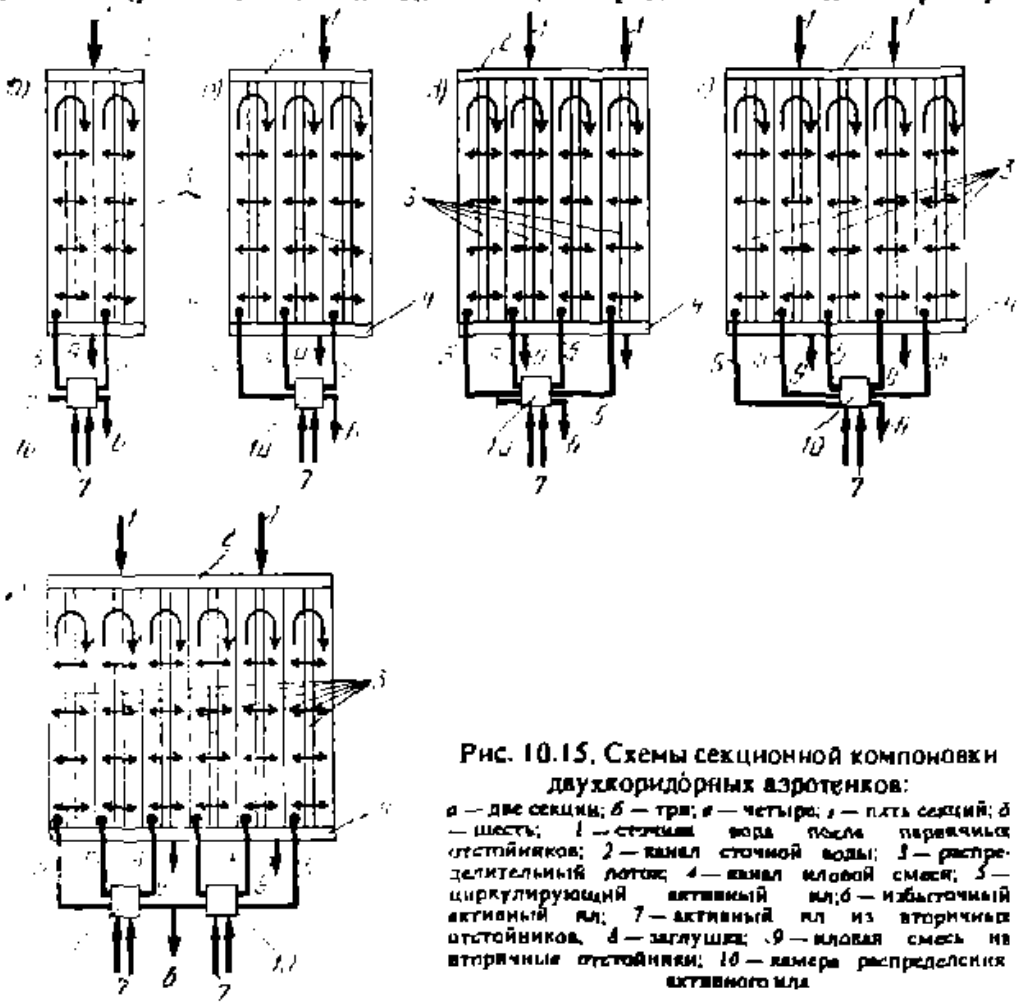


Рис. 10.15. Схемы секционной компоновки двухкоридорных аэротенков:
а — две секции; *б* — три; *в* — четыре; *г* — пять секций; *д* — шесть; *1* — сточная вода после первичных отстойников; *2* — канал сточной воды; *3* — распределительный лоток; *4* — канал иловой смеси; *5* — циркулирующий активный ил; *6* — избыточный активный ил; *7* — активный ил из вторичных отстойников; *8* — заглушки; *9* — иловая смесь из вторичных отстойников; *10* — камера распределения активного ила

разделенный перегородкой на коридоры, оборудованные устройствами для аэрирования иловой смеси, щитовыми затворами, системой трубопроводов для подачи сжатого воздуха, воды, активного ила и мостиками для обеспечения подхода к местам обслуживания. Осветленная вода по подводящим трубопроводам подается в верхний канал аэротенков, откуда поступает в распределительные лотки, расположенные на перегородках, и через отверстия, регулируемые щитовыми затворами-водосливами, переливается в аэротенк.

Разработанный институтом «Союзводоканалпроект» аэротенк двухкоридорный из сборного железобетона с размерами коридора $BxHxL$ = 6x4,6x36 ... 60 м с числом секций 2 ... 6 (рис. 10.16, 10.17)

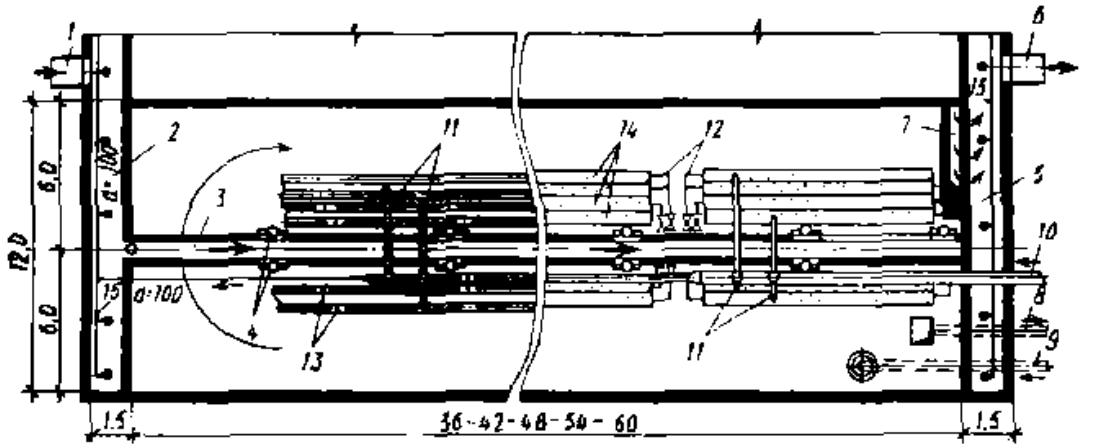


Рис. 10.16. Общий вид в плане секции двухкоридорного аэротенка с рассредоточенным впуском сточных вод:

1 — трубопровод исходной сточной воды; 2 — верхний канал; 3 — распределительный лоток; 4 — затворы-водосливы; 5 — нижний канал; 6 — трубопровод иловой смеси; 7 — водослив аэротенка; 8 — трубопровод опорожнения аэротенка; 9 — трубопровод возвратного ила; 10 — распределительная ветвь; 11 — воздушные стояки; 12 — дренажные линии; 13 — керамические трубы; 14 — керамические пластины; 15 — бетоноводный трубопровод

предназначен для биологической очистки невзрывоопасных производственных сточных вод, содержащих органические загрязнения, бытовых сточных вод и их смеси с производственными. Концентрация загрязнений осветленных сточных вод, поступающих в аэротенк, по $БПК_{полн}$ принята до 1000 мг/л. Пропускная способность рассчитана по времени аэрации от 4 до 20 ч. Аэротенк запроектирован с рассредоточенным впуском сточных вод и сосредоточенным впуском циркулирующего активного ила. Возможно изменение объема аэротенка подбором количества и длины секций. Аэрация — пневматическая. В качестве аэраторов приняты пористые керамические трубы или пористые керамические пластины. Режим возврата активного ила оказывает значительное влияние на работу аэротенков. Для равномерного распределения циркулирующего активного ила между секциями аэротенка предусмотрены камеры с

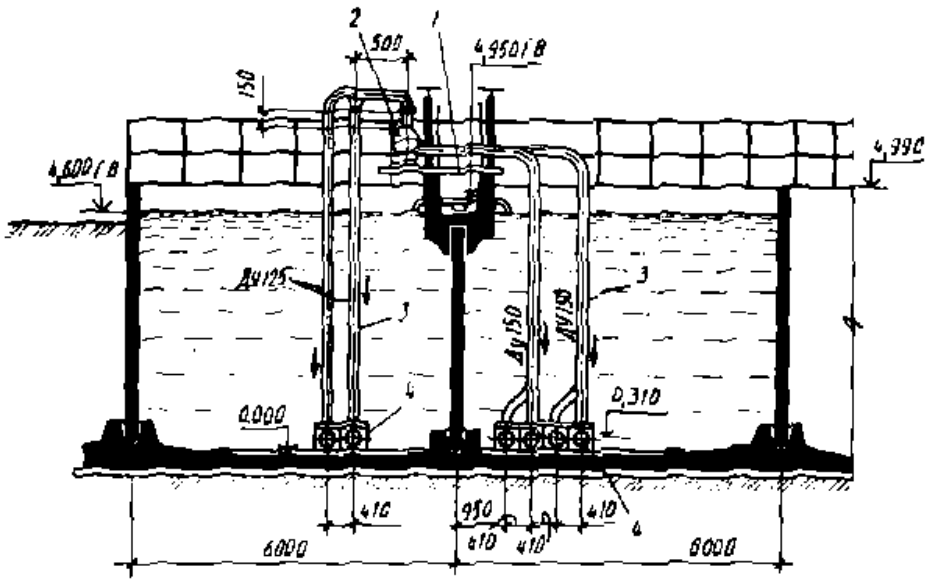


Рис. 10.17. Поперечное сечение двухкоридорного аэротенка с рассредоточенным впуском сточных вод:
1 — водораспределительный лоток; 2 — воздуховод; 3 — воздушные стояки; 4 — фильтросные коробы

подкачкой ила эрлифтами или насосами (рис. 10.18, табл. 10.10). Расход воздуха, подаваемого на эрлифты, 1,8 ... 2 м^3 на 1 м^3 активного ила, давление сжатого воздуха у камеры не менее 5 м вод. ст.

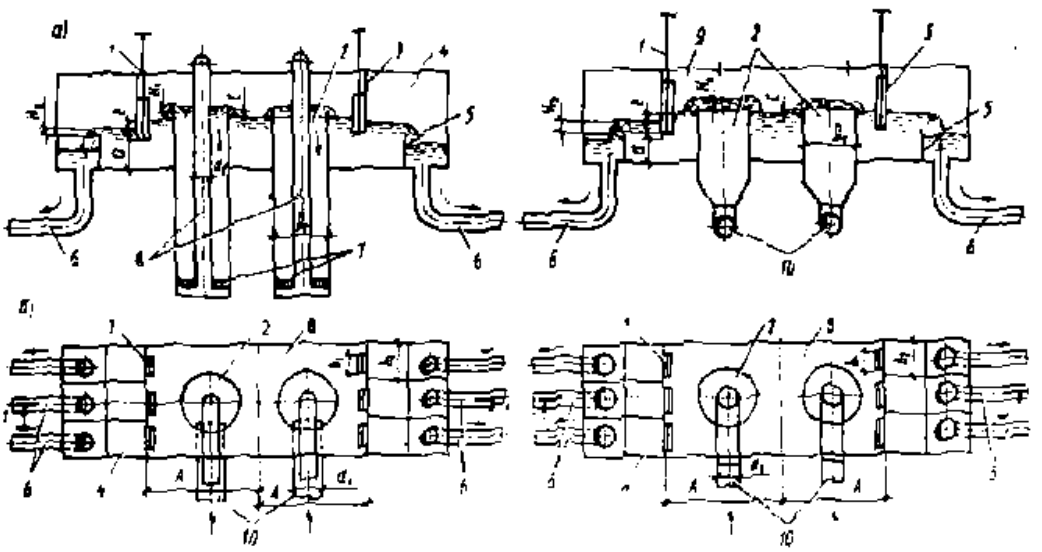


Рис. 10.18. Камеры распределения возвратного активного ила в аэротенках:
а — вариант с эрлифтами; б — вариант с насосами; 1 — глубинный четвер; 2 — чаша распределительная; 3 — успокоительная стенка; 4 — расходная часть; 5 — водослив выходной; 6 — шлюзовые к аэротенкам; 7 — эрлифты; 8 — воздуховоды; 9 — успокоительная часть; 10 — шлюзовые от вторичных отстойников

Таблица 10.10. Основные параметры камер распределения возвратного активного ила

Расход активного ила на камеру, м/с	Размеры и перепады, мм											
	D_1	D_2	A	d_1	d_2	a	b_1	b_2	c	H_1	H_2	s
Вариант перекачки активного ила эрлифтами												
350 ... 1100	—	1000	2420	600	250	500	400	800	120	150	250	80
150 ... 350	—	700	1600	500	200	500	300	600	120	180	250	50
90 ... 150	—	500	1200	400	150	250	200	600	120	180	200	300
До 90	—	500	1200	300	100	250	200	600	120	180	200	300
Вариант перекачки активного ила насосами												
350 ... 110	1000	—	2420	600	—	500	400	800	120	150	250	80
150 ... 350	700	—	1600	500	—	500	300	600	120	180	250	50
До 150	500	—	1200	350	—	250	200	600	120	180	200	300

Циркулирующий активный ил из камеры распределения ила подается по трубопроводу в начало первого коридора каждой секции аэротенков, а затем смешивается с поступающей из распределительного лотка сточной водой. Иловая смесь в конце второго коридора через водослив с тонкой стенкой переливается в нижний канал аэротенка, откуда трубопроводами отводится во вторичные отстойники. Потери напора при входе из подводящего трубопровода в распределительную чашу камеры, м,

$$h=\sum\zeta\frac{v^2}{2g}, \qquad (10.22)$$

где $\sum\zeta$ — сумма коэффициентов местных сопротивлений, принятая равной 2,2; v — скорость в подводящем трубопроводе, м/с.

Напоры на кольцевых водосливах распределительных чаш H_1 и водосливах на выходе H_2 определяются по формуле незатопленного водослива с тонкой стенкой, м,

$$H_{1,2}=\left(\frac{q_{1,2}}{mb_2\sqrt{2g}}\right)^{2/3}, \qquad (10.23)$$

где q_1 — расход на одну распределительную чашу, м^3/с; q_2 — расход на один водослив на выходе, м^3/с; m — коэффициент расхода, равный 0,42; b_2 — длина водослива, м (для распределительной чаши длина водослива равна πD).

Потери напора на истечение под уровень успокоительной стенки определяются по формуле затопленного отверстия, м,

$$Z=\left[\left(\frac{q}{\mu\omega_0}\right)^2-v_a^2\right]\frac{1}{2g}, \qquad (10.24)$$

где μ — коэффициент расхода, равный 0,7; ω_0 — площадь отверстия, м^2; $\omega_0=a\times b_1$; v_a — скорость в успокоительной части, м/с.

Для подачи сжатого воздуха в аэротенки предусмотрена система воздуховодов, состоящая из магистральных и распределительных трубопроводов, от которых отходят ответвления к аэраторам. Воздуховоды в секциях аэротенка укладываются на неподвижные и скользящие опоры. Для компенсации температурного изменения длины воздуховодов применены линзовые компенсаторы.

Для предотвращения выпадения взвешенных веществ в верхнем и нижнем каналах предусмотрены аэраторы, выполненные в виде труб-стояков с открытыми нижними концами. Интенсивность барботирования 1,5 м^3/ч на 1 м канала. Для опорожнения аэротенка в каждой секции предусмотрен приямок с отводящей трубой. Время опорожнения одной секции принято равным 12 ч. При необходимости в аэротенках предусматривают мероприятия по локализации пены: орошение водой через брызгала или применение химических антивспенивателей. Интенсивность разбрызгивания при орошении принимают по экспериментальным данным. Количество водосливов на распределительном лотке каждой секции аэротенка изменяется от 8 до 14 при изменении длины аэротенка от 36 до 60 м соответственно. Общие гидравлические потери в аэротенке, м,

$$H_{общ}=h_1+h_2+h_3. \qquad (10.25)$$

где h_1 — потери напора на входе из верхнего канала в распределительный лоток, м;

$$h_1=\zeta\frac{v^2}{2g}, \qquad (10.26)$$

где ζ — коэффициент местного сопротивления, равный 0,5; v — скорость в распределительном лотке, м/с; h_2 — разность уровней воды в распределительном лотке и в аэротенке, м,

$$h_2=h'+a, \qquad (10.27)$$

где a — расстояние от порога водослива до уровня воды в аэротенке, равное 0,1 м; h' — напор на водосливе при выходе сточной воды в секцию аэротенка, определяется по формуле незатопленного бокового водослива, м;

$$h'=\left(\frac{Q_0}{mL\sqrt{2g}}\right)^{2/3}, \qquad (10.28)$$

где Q_0 — расход сточной жидкости через отверстие, $м^3/с$; $m = 0,42$ — коэффициент расхода; $L = 0,9$ м — длина водослива; h_3 — разность уровней воды в аэротенке и в нижнем канале, м;

$$h_3 = h + B, \tag{10.29}$$

где $B = 0,1$ м — расстояние от порога незатопленного водослива до уровня воды в нижнем канале; h — напор на водосливе при выходе смеси из 2-го коридора секции аэротенка в нижний канал, м;

$$h = \left(\frac{Q_{см}}{mb_1\sqrt{2g}}\right)^{2/3}, \tag{10.30}$$

где $m = 0,42$ — коэффициент расхода; b_1 — ширина водослива, м; $Q_{см}$ — суммарный расход смеси сточной воды и активного ила, $м^3/с$.

Ширина водосливов зависит от пропускной способности аэротенка и устанавливается водоудерживающими досками из органического стекла.

Сечения распределительных лотков при уклоне 0,001 в зависимости от пропускной способности одной секции аэротенка принимаются по табл. 10.11.

Таблица 10.11. Гидравлические параметры аэротенков с рассредоточенным впуском сточных вод

Расходы сточных вод на одну секцию с коэффициентом 1,4, л/с	Сечение распределительного лотка $B \times H$, мм	Ширина водослива на выходе из 2-го коридора, м	Напор на водосливе на выходе из 2-го коридора, м
До 50	300x600	До 0,5	0,2
50 ... 116	450x600	0,5 ... 1	0,2
116 ... 220	600x900	1 ... 2	0,2
220 ... 370	900x900	2 ... 2,5	0,2

Для отключения одной из секций аэротенков в начале распределительного лотка устанавливают щитовой затвор. Выпускные отверстия, оборудованные щитовыми затворами-водосливами с размерами окна 900x500, расположены вдоль распределительного лотка через 12 м. Размеры отверстий обеспечивают, в случае необходимости, пропуск 50% расхода воды, поступающей в одну секцию. В конце лотка для его опорожнения имеется отверстие 300x250 мм с щитовым затвором. Сооружение рассчитано на работу в режиме аэротенка с рассредоточенным впуском сточных вод с различными объемами регенератора, возможна также работа аэротенка в режиме аэротенка-вытеснителя с впуском сточных вод сосредоточенно через два близрасположенных отверстия.

10.5. Аэротенки-смесители, аэротенки-отстойники, аэроакселаторы

Аэротенки-отстойники могут применяться для всех видов сточных вод, поддающихся биохимической очистке в аэробных условиях. В настоящее время мировая практика очистки сточных вод располагает определенным опытом эксплуатации аэротенков-отстойников, что дает наглядное представление о возможностях технологического процесса и позволяет установить эффективность некоторых технологических схем и сооружений.

Для конструктивной оценки различных аэротенков-отстойников эти сооружения можно классифицировать следующим образом.

1. По типу системы аэрации. Аэротенки могут быть с пневматической, пневмомеханической и механической (поверхностной) системами аэрации. Иногда для улучшения перемешивания на одном валу с пневмомеханическим аэратором устанавливается поверхностный или реже промежуточный аэратор. Кроме того, при анализе установок с пневматической или пневмомеханической системой аэрации необходимо различать низконапорные и высоконапорные (обычные) воздухораспределительные системы, так как это в значительной степени влияет на конструкцию в целом.

2. По направлению движения сточной жидкости. Аэротенки подразделяются на установки с центрально расположенной отстойной зоной и периферической зоной аэрации (движение жидкости от периферии к центру) и на установки с центрально расположенной зоной аэрации и периферической зоной отстаивания (движение жидкости от центра к периферии). Кроме того, встречаются установки промежуточного типа, т. е. со смежным расположением зон аэрации и отстаивания.

3. По концентрации обрабатываемых сточных вод. Различаются установки для очистки концентрированных и слабоконцентрированных стоков. Указанное различие выражается отношением объема зоны аэрации к объему зоны отстаивания, которое тем больше, чем больше время аэрации, т. е. чем концентрированнее сточные воды.

4. По характеру работы отстойной зоны. Аэротенки-отстойники могут быть с осветлением во взвешенном слое с обычным (гравитационным) отстаиванием или с отстойником промежуточного типа. Необходимо также различать отстойные зоны, в которых концентрирование осадка в нижней части происходит естественно или производится искусственным путем с помощью скребкового механизма. Как правило, скребковые механизмы используются в сооружениях, рассчитанных на значительный расход сточных вод (более 15 000 $м^3$/сут).

5. По способу распределения сточных вод. Встречаются установки с рассредоточенной по длине сооружения подачей сточных вод в зону аэрации, а также с сосредоточенным (точечным) подводом

стоков. Как правило, установки первого типа оборудуются пневматической системой аэрации, а установки второго типа — механической системой аэрации.

6. По форме в плане. Установки могут быть прямоугольные (квадратные или вытянутые в длину), круглые или более сложной формы.

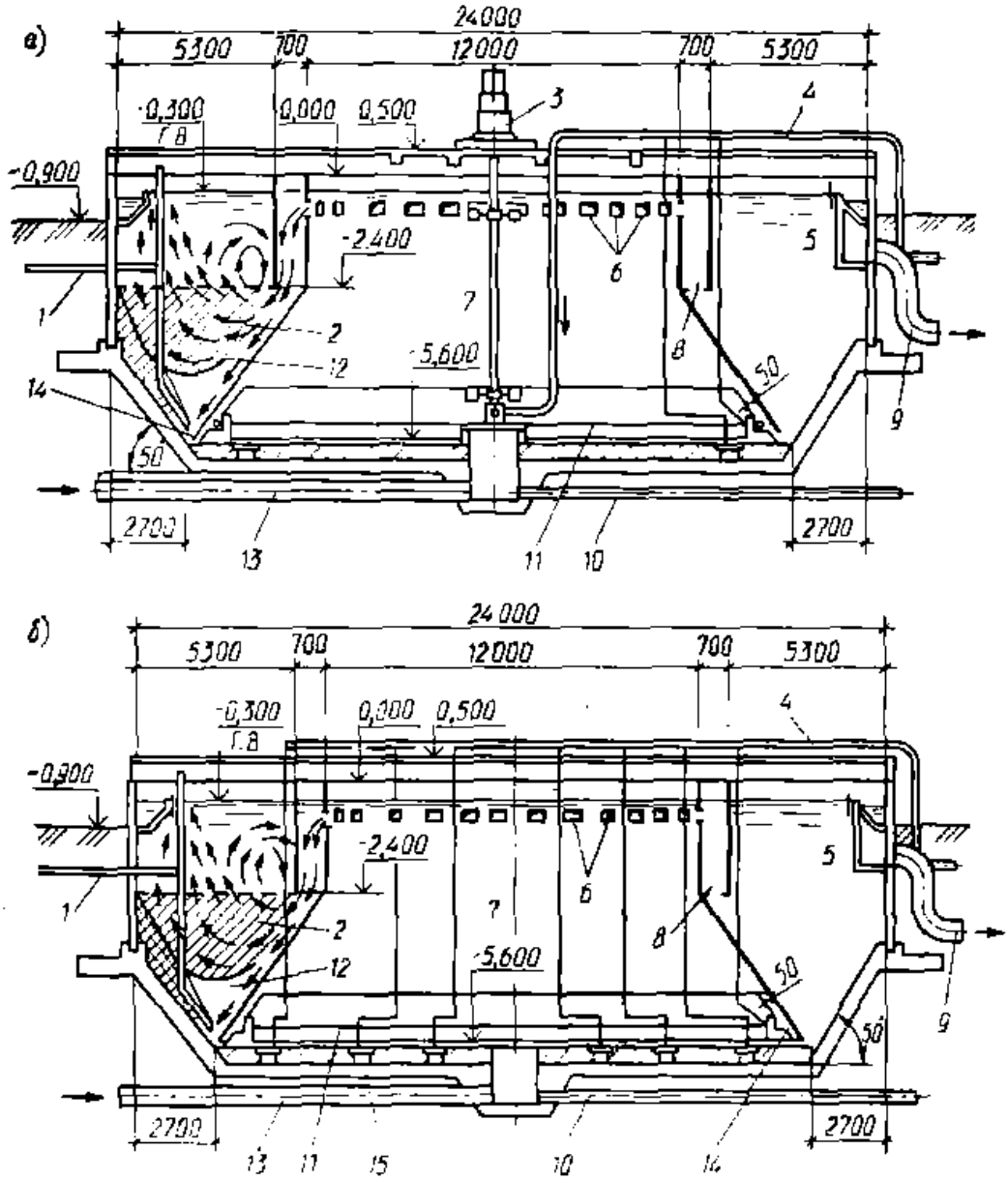


Рис. 10.19. Технологические схемы аэроакселаторов:

а — с пневмомеханической аэрацией; б — с пневматической аэрацией; 1 — клапан; 2 — взвешенный слой; 3 — турбовоздуходувка марки ПМ 55-1,05; 4 — воздухопровод; 5 — зона отстаивания; 6 — переливные окна; 7 — зона аэрации; 8 — воздухоотделитель; 9 — отводящий трубопровод; 10 — трубопровод опорожнения; 11 — кромка отражателя; 12 — зона циркуляции; 13 — подающий трубопровод; 14 — приемная кольцевая щель; 15 — мелкопузырчатые диспергаторы

Аэроакселатор (рис. 10.19) представляет собой круглое в плане сооружение, в котором сблокированы аэротенк-смеситель и вторичный отстойник. В центральной части располагается аэротенк (зона аэрации), а на периферии — отстойник (зона отстаивания). Осветленные сточные воды после узла механической очистки в зоне аэрации подвергаются биохимическому окислению. Подаваемый воздух обеспечивает циркуляцию жидкости в этой зоне и подсос иловой смеси из циркуляционной зоны отстойника. Благодаря внутренней рециркуляции между зонами аэрации и отстаивания не требуется внешней системы возврата активного ила (иловых насосных станций, илопроводов, каналов и т. д.). Особенность технологической схемы аэроакселатора состоит в том, что потоки иловодяной смеси и возвратного активного ила разобщены: иловодяная смесь из аэрационной поступает в циркуляционную зону отстойника через регулируемые переливные окна, а возврат активного ила в аэрационную зону происходит через придонную кольцевую щель.

Рециркуляция между зонами осветления и аэрации происходит за счет разности плотностей иловой смеси, возникающей при подаче воздуха в нижнюю часть зоны аэрации, мелкопузырчатые аэраторы или через кольцевой дырчатый трубопровод. Интенсивность обмена между зонами аэрации и осветления может изменяться путем регулирования подачи воздуха в нижнюю часть зоны аэрации. Рециркуляция между зонами отстаивания и аэрации позволяет поддерживать оптимальный кислородный режим и осуществлять интенсификацию процесса окисления органических загрязнений сточных вод за счет улучшения условий жизнедеятельности микроорганизмов. Поддержание слоя активного ила во взвешенном состоянии обеспечивается соответствующей степенью рециркуляции иловой смеси путем регулирования площади переливных окон и подачи воздуха. Оптимальные размеры аэроакселатора — диаметр зоны аэрации, площадь зоны отстаивания — определяются с учетом принятой дозы активного ила 2 ... 4 г/л, гидравлической нагрузки на поверхность зоны отстаивания 2 ... 0,95 $м^3/(м^2 \cdot ч)$ и удельной скорости окисления загрязнений 18,5 ... 22 $мг/(г \cdot ч)$ по $БПК_{полн}$. При этих условиях период аэрации городских сточных вод составляет 2,5 ... 4,5 ч. Затопленные переливные окна рассчитывают на максимальный расход из условий 5 ... 10-кратной рециркуляции иловой смеси со скоростью 0,2 ... 0,1 м/с. Ширина придонной кольцевой щели 50 ... 100 мм. Количество переливных окон

$$n=(R_0+1)Q/vf, \qquad (10.31)$$

где R_0 — кратность циркуляции иловой смеси; Q — расход сточных вод, $м^3/с$; v — скорость истечения через окна, м/с; f — площадь одного окна с учетом рекомендуемых размеров $(0,6 \ldots 0,8) \times 0,3$, $м^2$.

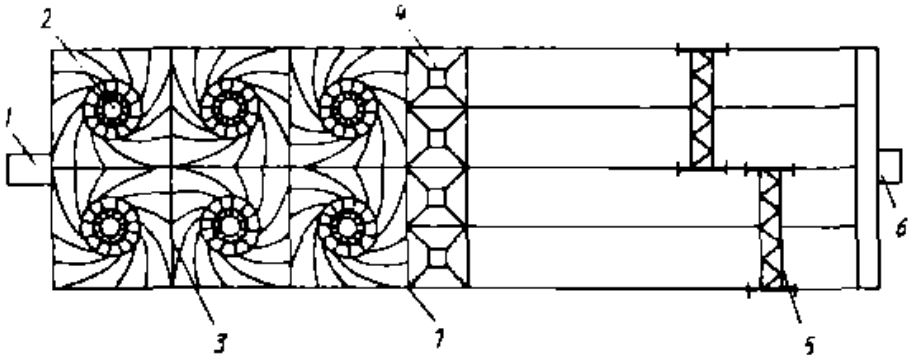


Рис. 10.20. Групповая установка механических аэраторов в аэротенке-отстойнике:
1 — впуск исходной сточной воды; 2 — механические аэраторы; 3 — секционирующие перегородки; 4 — иловые бункеры; 5 — скребковые фермы; 6 — выпуск очищенных стоков; 7 — переливная перегородка между аэротенками и вторичным горизонтальным отстойником

Союзводоканалпроектом разработаны аэроакселаторы диаметром 24 м с пневматической и пневмомеханической системами аэрации.

Схема аэротенка-отстойника с механическими поверхностными аэраторами представлены на рис. 10.20.

10.6. Аэротенки с продольным рециклом иловой среды

Удельная нагрузка на активный ил аэротенков помимо дозы ила, которая в условиях эксплуатации изменяется незначительно, определяется расходом сточных вод и концентрацией поступающих загрязнений. В натурных условиях расходы сточных вод и концентрации загрязнений подвержены значительным часовым колебаниям, что, в свою очередь, определяет колебания нагрузки (рис. 10.21). Это снижает окислительную способность микроорганизмов активного ила, которые постоянно должны адаптироваться к новым условиям питания, нарушает кислородный режим аэротенков и вызывает снижение стабильности качества очищенной воды.

Коридорные аэротенки традиционных типов, как биореакторы, обладают рядом существенных недостатков: неравномерной по длине сооружения нагрузкой на активный ил, ухудшающей его техно-

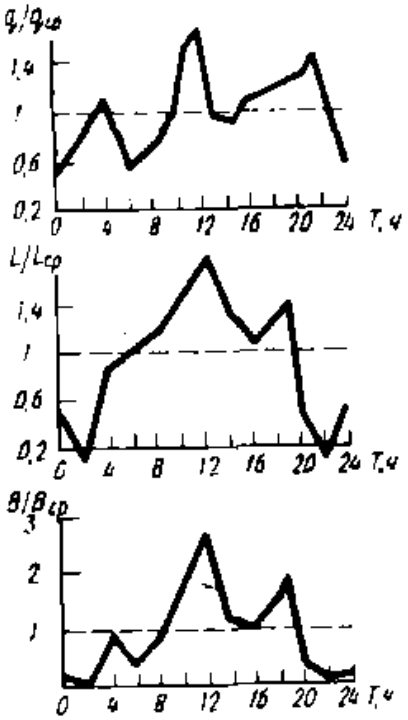


Рис. 10.21. Характер часовых колебаний расхода q, состава L и общего количества загрязнений (исходной нагрузки) $B = qL$ на городских станциях аэрации

логические свойства; дефицитом растворенного кислорода в начальных, наиболее нагруженных зонах сооружения, тормозящим процессы окисления загрязнений, и избытком растворенного кислорода в конечных зонах, увеличивающим его безвозвратные потери. Станции биологической очистки сточных вод, как правило, работают с неравномерной нагрузкой. Например, максимальная БПК поступающих городских сточных вод больше минимальной в 1,5 ... 3 раза, максимальный расход больше минимального в 1,6 ... 2,2 раза, причем экстремальные значения концентраций загрязнений и расхода практически совпадают. Жесткие условия эксплуатации при несовершенстве технологического режима приводят к систематическим нарушениям режима работы аэротенков.

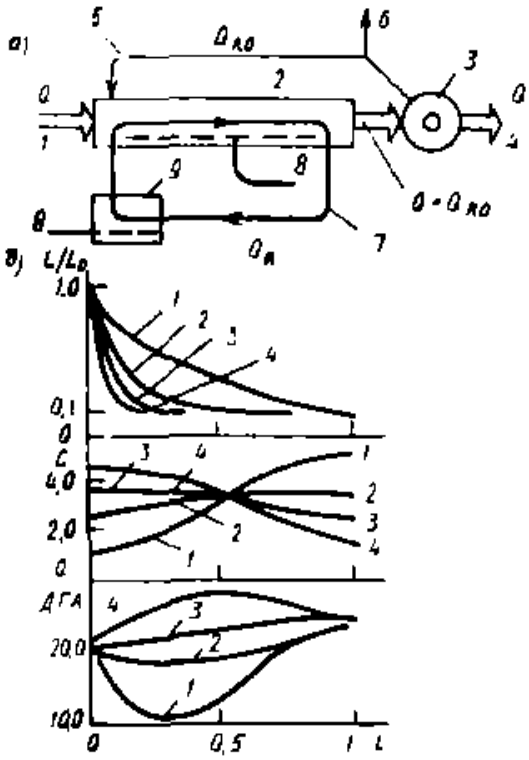


Рис. 10.22. Характер изменения технологического режима в аэротенке в зависимости от интенсивности продольного рецикла иловой среды:

а — схема аэротенка с продольным РИС: 1 — исходная сточная жидкость; 2 — аэротенк; 3 — вторичный отстойник; 4 — очищенная сточная вода; 5 — возвратный активный ил; 7 — продольный РИС; 8 — подача воздуха; 9 — рециркуляционный узел; б — основные показатели: L/L0 — степень очистки по БПКполн; С — концентрация растворенного кислорода, мг/л; ДГА — дегидрогеназная активность ила, мг/г; $h_1 = 1,5$ (аэротенк-вытеснитель без продольного РИС); $h_1 = 2,5$; $h_2 = 3,5$; $h_3 = 4,5$ (1, 2, 3, 4)

Одни из наиболее простых в исполнении и эксплуатации методов интенсификации работы коридорных аэротенков основан на создании в них направленного продольного рецикла иловой среды между начальной и конечной зонами сооружения (рис. 10.22). Варьирование продольного рецикла иловой среды в коридорных аэротенках позволяет трансформировать гидродинамику сооружения в желаемом направлении, что эффективно воздействует на такие параметры процесса, как удельная нагрузка на ил, количество вводимого кислорода, концентрация активного ила, уровень ферментативной активности. Установлено, что интенсифицирующее действие продольного рецикла иловой среды в аэротенках обусловлено выравниванием нагрузки на активный ил и возвратом в рабочую зону аэротенка наиболее активной части биомассы и ферментов, не ингибированных пребыванием во вторичных отстойниках. Применение продольного рецикла иловой среды улучшает кислородный режим сооружения без сокращения средней длины пробега, обрабатываемой жидкости, что практически исключает «проскок» необработанных загрязнений.

В результате более длительного нахождения активного ила в аэробных условиях и ускорения оборота биомассы возрастает ее окислительная способность, определяемая повышением уровня ферментативной активности. Характер изменения основных технологических показателей (рис. 10.22) зависит от интенсивности продольного рецикла иловой среды, измеряемого коэффициентом рециркуляции k_R в соответствии с выражением

$$k_R = (Q + Q_{RO} + Q_R)/Q = 1 + Q_{RO}/Q + Q_R/Q, \qquad (10.32)$$

где Q, Q_{RO}, Q_R — расходы соответственно сточных вод, возвратного ила и продольного рецикла иловой среды.

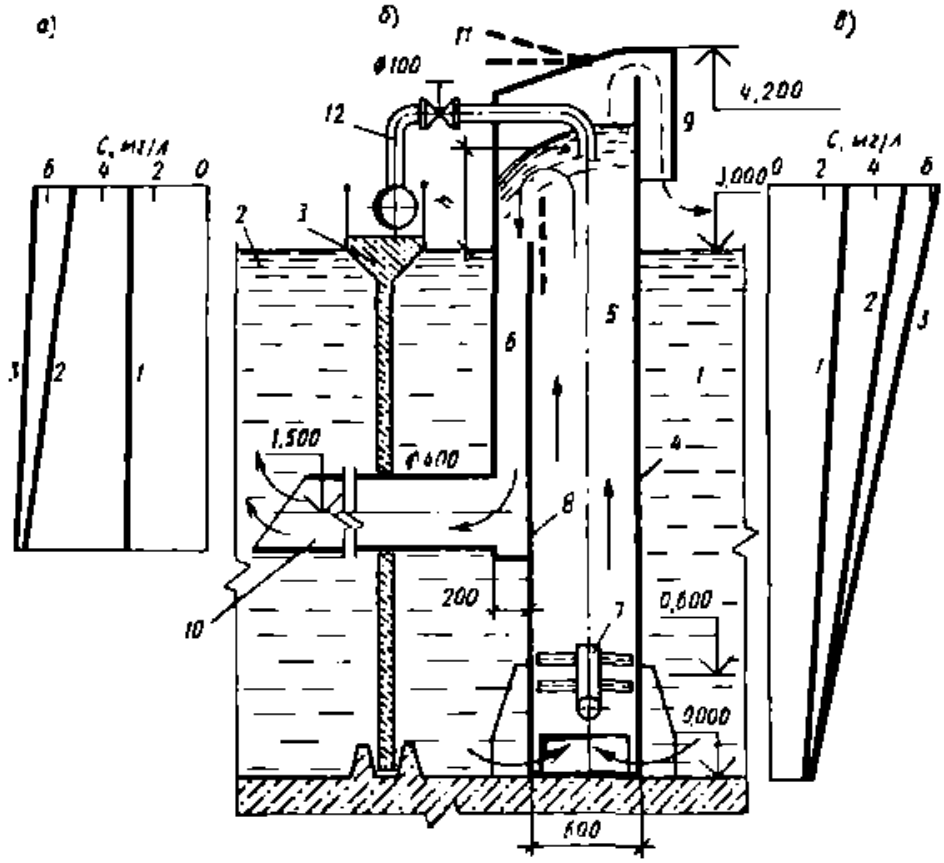


Рис. 10.23. Рециркуляционная колонна (РК) прямоточно-противоточного типа:
а — профили концентраций растворенного кислорода *C* по высоте прямоточной и противоточной камер соответственно: 1) h = 0,05 м; 2) h = 0,18 м; 3) h = 0,45 м; *б* — схема установки; *1* — конечная зона первого коридора аэротенка; *2* — начальная зона второго коридора (регенератора); *3* — разделительная стенка; *4* — корпус колонны; *5* — прямоточная камера; *6* — противоточная камера; *7* — диспергатор; *8* — переливная стенка; *9* — воздухоотделитель; *10* — перепускной патрубок; *11* — крышка отражателя; *12* — воздуховод

Установлено, что стабилизирующее влияние продольного рецикла иловой среды на работу аэротенков проявляется не только при регулярных суточных колебаниях нагрузки, но и при залповых сбросах сточных вод в аварийных ситуациях на основных производствах или при промывке технологических емкостей.

Продольный рецикл достигается установкой в сооружении рециркуляционного узла, состоящего из одной или нескольких колонн, который работает в режиме низконапорного (0,15 ... 0,3 м над уровнем жидкости в аэротенке), но высокопроизводительного эрлифта (рис. 10.23). При этом не только создается продольный рецикл иловой среды в аэротенке, но и происходит введение *дополнительного количества кислорода в обрабатываемую жидкость*. Эффективность аэрации при использовании в рециркуляционных узлах среднепузырчатых диспергаторов близка к лучшим показателям аэраторов данного типа. При использовании в колонне мелкопузырчатых диспергаторов значение эффективности аэрации по сравнению со среднепузырчатыми диспергаторами возрастает в 1,3 ... 1,5 раза. Это дает возможность использовать рециркуляционную колонну для создания продольного рецикла иловой среды в аэротенке без снижения эффекта работы системы аэрации в целом. В ряде случаев функции рециркуляционного узла может выполнять вертикальный

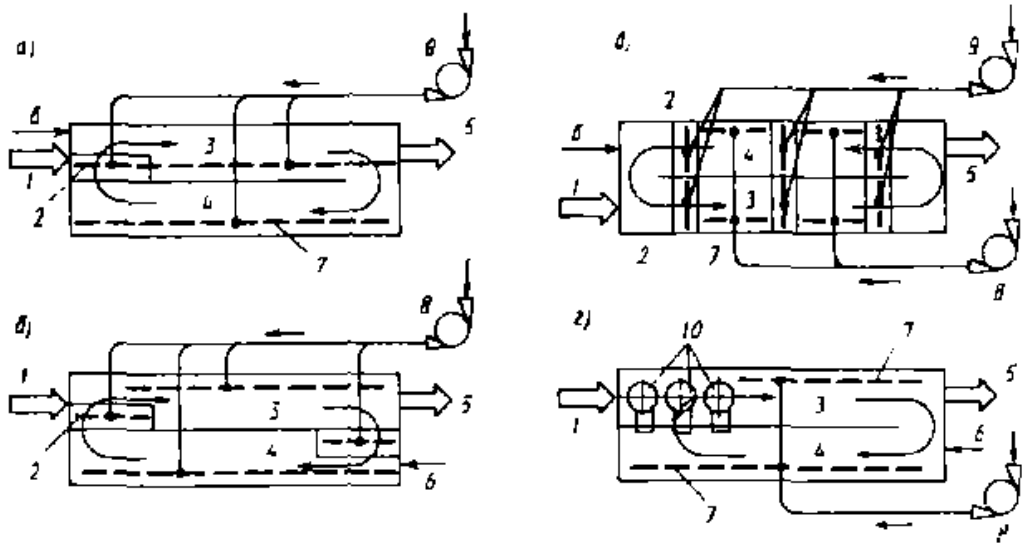


Рис. 10.24. Технологические схемы аэротенков с продольным РИС:

а, б — постоянный продольный РИС; в, г — регулируемые продольный РИС и кислородный режимы; 1 — исходная сточная жидкость; 2 — рециркуляционный узел; 3 — прямой смесительный коридор; 4 — обратный смесительный коридор; 5 — иловая смесь; 6 — возвратный ил; 7 — пневматические аэраторы; 8 — воздухонагнетатели постоянного действия; 9 — регулируемые воздухонагнетатели; 10 — вертикальные механические аэраторы

механический аэратор или другое аэрационное устройство. Аэротенки с продольным рециклом иловой среды бывают следующих технологических модификаций.

Аэротенки с постоянным продольным рециклом иловой среды. Сооружения данного типа наиболее просты, так как создание продольного рецикла иловой среды в аэротенках связано только с установкой рециркуляционных узлов и обеспечением их подачей сжатого воздуха. Наилучший эффект дает установка рециркуу-

ляционных узлов в аэротенках вблизи места впуска сточных вод и возвратного активного ила (рис. 10.24). Для городских сточных вод расход продольного рецикла иловой среды соответствует $k_R = 2 \ldots 3$, необходимость установки дополнительных воздуконагнетателей рассматривается с учетом конкретных условий. Применение продольного рецикла иловой среды в существующих аэротенках позволяет снизить расход воздуха на 8 ... 12% за счет улучшения массообмена между соседними циркуляционными зонами и увеличить производительность коридорных аэротенков в 1,3 ... 1,5 раза без снижения степени очистки. Расчет этих сооружений выполняется по формулам СНиП 2.04.03—85 для аэротенков-смесителей с той разницей, что концентрация растворенного кислорода в активной зоне аэротенка вместо 2 мг/л принимается равной 3,5 ... 4,5 мг/л при том же общем расходе воздуха.

Аэротенки с регулируемым продольным рециклом иловой среды и кислородным режимом. Целесообразность применения сооружений данного типа увеличивается по мере возрастания неравномерности поступающей нагрузки, которая зависит от колебания расхода поступающих сточных вод и исходной концентрации загрязнений. Величину технологической нагрузки или скорость поступления органических загрязнений определяют произведением значений расхода сточных вод и концентрации загрязнений, соответствующих данному моменту времени. Расчеты показывают, что применение аэротенков с регулируемым продольным рециклом иловой среды и кислородным режимом экономически оправдано уже при превышении максимальной нагрузки над минимальной в 2 раза и более, что соответствует аналогичным колебаниям расхода и концентрации поступающих загрязнений в 1,5 раза.

Технологические схемы аэротенков данного типа представлены на рис. 10.24. Особенностью этой группы сооружений является разделение системы аэрации на два уровня: базисный и управляемый (регулируемый). Базисная, или постоянно действующая, система аэрации оснащена мелкопузырчатыми пневматическими аэраторами. Базисная система, работающая с минимальными интенсивностями аэрации 3,5 ... 5 $м^3/(м^2 \cdot ч)$, предотвращает осаждение активного ила и обеспечивает кислородом процесс биологического окисления в периоды минимального поступления загрязнений, например в ночное время. Управляемая или регулируемая система аэрации, присоединенная к отдельной группе воздуконагнетателей или оборудованная вертикальными механическими аэраторами, обеспечивает кислородом биологический процесс и создает рецикл иловой среды в периоды возрастания нагрузки. Аэраторы управляемой системы аэрации устанавливают в рециркуляционных узлах. Если регламентом работы аэротенка предусматривается периодическое включение управляемой системы аэрации, то аэраторы следует принимать среднепузырчатые, а рециркуляционные узлы — прямоточно-противоточного типа. Это снижает опасность засорения отверстий аэраторов во время техно-

логических пауз в их работе и одновременно компенсирует уменьшение скорости растворения кислорода из воздушных пузырьков средним диаметром 8 ... 10 мм. Если режим работы управляемой системы аэрации непрерывный, но с переменными расходами воздуха, то допустимо применение рециркуляционных узлов прямоточного типа с использованием мелкопузырчатых аэраторов.

Регулирование продольного рецикла иловой среды и кислородного режима в аэротенке может осуществляться путем изменения расхода подаваемого воздуха, включая его периодическое обогащение техническим кислородом. Ступенчатое регулирование, достигаемое изменением числа включенных воздухонагнетателей, обеспечивает экономию 20 ... 30% электроэнергии, но по техническим причинам применимо для сравнительно небольших станций.

Аэротенки с регулируемым продольным рециклом иловой среды, кислородным режимом и концентрацией активного ила. При больших (в 5 ... 6 раз больше минимальных значений) колебаниях нагрузки, а также при очистке концентрированных производственных сточных вод стабилизация удельной нагрузки на ил на уровне, близком к оптимальному, возможна только при условии оперативного регулирования рабочей дозы ила. До настоящего времени было разработано два способа решения этой задачи: регулирование сброса избыточного ила в системе и ускоренный возврат ила из вторичных отстойников. Первый способ оказался наименее пригодным для практического использования ввиду своей инерционности, так как для заметного изменения дозы ила в системе требуется 1 ... 2 недели, тогда как регулярные колебания нагрузки обычно имеют 2 ... 8-часовые интервалы. Кроме того, переменный сброс избыточного ила осложняет работу сооружений по обработке осадка. В случае использования метантенков, которые чувствительны к постоянству дозы суточной загрузки, он практически не применим. Второй способ более ускоренный, но обеспечивает увеличение рабочей дозы активного ила в аэротенках не более чем в 1,5 ... 1,6 раза, так как при увеличении количества возвратного ила свыше 100% расхода сточных вод вторичные отстойники испытывают гидравлические перегрузки, в результате чего резко возрастает вынос взвеси с очищенной водой. Этот способ может быть использован как дополнительное средство при решении поставленной задачи.

Предложен способ регулирования рабочей дозы ила в аэротенке, основанный на использовании регенераторов-накопителей, из которых с помощью направленного рециркуляционного потока производится вытеснение концентрированной иловой среды в аэротенк. Это обеспечивает периодическое увеличение рабочей дозы ила в аэротенке с 1,5 до 3 г/л, а при одновременном увеличении его возврата из вторичных отстойников — до 4 ... 4,5 г/л. Время установления повышенной дозы ила в аэротенке при этом не превышает 0,75 ... 1 ч, что позволяет оперативно реагировать на увеличение исходной нагрузки.

Для того чтобы удельная нагрузка на ил оставалась постоянной, а условия окислительного процесса — оптимальными, необходимы аэротенки, конструкция которых позволяет достаточно оперативно (обычно в течение 0,5 ... 1 ч) изменять количество вводимого кислорода, концентрацию активного ила и интенсивность продольного перемешивания в соответствии с колебаниями нагрузки. Такие аэротенки являются управляемыми*. Конструктивными особенностями этих сооружений являются: двухуровневая (базисная + управляемая) система аэрации; в состав базисной или постоянно действующей системы аэрации обычно применяются пневматические аэраторы, в качестве управляемой или периодически действующей системы аэрации применимы аэраторы практически любых типов; узлы, обеспечивающие продольное перемешивание иловой среды с заданной интенсивностью (рециркуляционные узлы камеры или колонны), которые конструктивно совмещены с управляемой системой аэрации; регенераторы переменного объема или реактиваторы, связанные с аэротенками по принципу сообщающихся сосудов. ЦНИИЭП инженерного оборудования разработаны различные конструктивные модификации управляемых аэротенков, наименование которых принято связывать с системой управляемой аэрации.

Аэротенк с пневматической аэрацией (рис. 10.25, *а*) работает следующим образом. Исходная сточная вода *1* через распределительный лоток поступает в аэротенк *2*, куда из реактиватора *3* подается возвратный активный ил. Сточная вода в контакте с активным илом аэрируется сжатым воздухом, подаваемым через аэраторы *4*, и подвергается биологической очистке. В илоотделителях *6*, рассчитанных на 15 ... 20 мин пребывания иловой смеси, значительная часть активного ила осаждается в конусных бункерах, откуда эрлифтами перекачивается в реактиватор, а осветленная жидкость поступает в аэрируемый канал *20*, откуда через выпуск *7* направляется во вторичные отстойники. Активный ил, осевший во вторичных отстойниках, частично возвращается в реактиватор, частично в качестве избыточного ила удаляется на обработку.

В период увеличенного притока уровень жидкости в распределительном лотке повышается, и она через переливные трубы начинает поступать в рециркуляционный узел *8*. Одновременно с этим производится включение воздухонагнетателей периодического действия, что обеспечивает введение в аэротенк дополнительного количества растворенного кислорода, а воздух, поступающий через диспергаторы 9, вызывает перелив насыщенной кислородом иловой смеси в реактиватор. В результате этого происходит вытеснение из

---

* Строго говоря, управляемым является практически любое канализационное сооружение. В данном случае термином «управляемый» подчеркивается значительный диапазон изменяемых параметров и быстродействие технологических элементов управления.

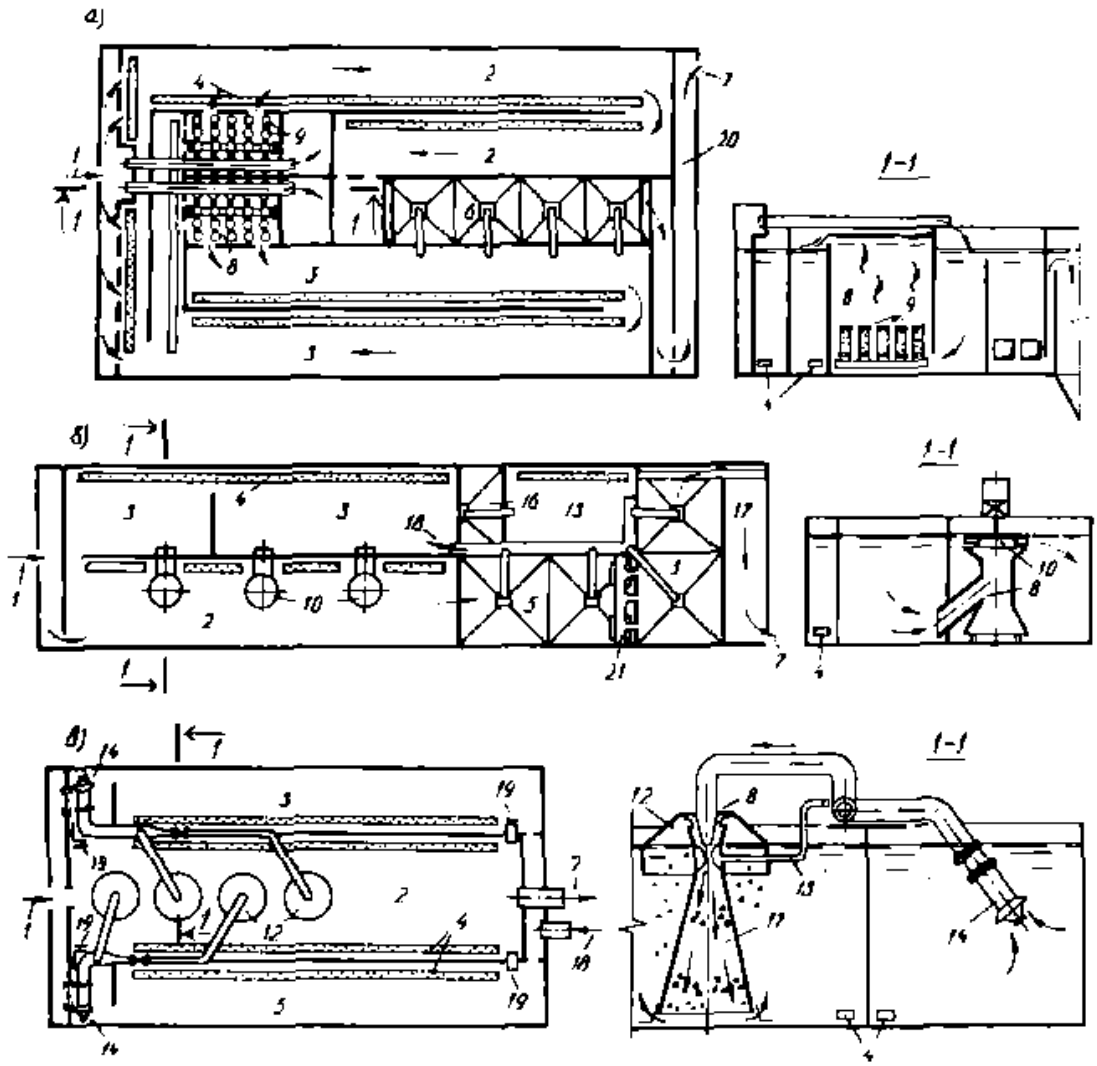


Рис. 10.25. Конструкции управляемых аэротенков с различными системами управляемой аэрации:

а — пневматическая; б — механическая; в — струйно-пневматическая; 1 — исходная сточная вода, 2 — аэротенк с продольным рециклом иловой среды; 3 — реактиватор; 4 — пневматические аэраторы базисной системы (постоянного действия); 5 — вторичные отстойники с эрлифтами; 6 — промежуточные илоотделители с эрлифтами; 7 — очищенная сточная вода, 8 — рециркуляционные узлы; 9 — диспергаторы периодического действия; 10 — механический аэратор; 11 — водоструйная колонна противоточного типа; 12 — зонт-уловитель с гидрозатвором, 13 — подача кислородсодержащего газа или воздуха; 14 — осевые насосы погружного типа; 15 — аэробный минерализатор, 16 — илоуплотнитель; 17 — контактный резервуар; 18 — возвратный ил; 19 — перепускные клапаны, 20 — аэрируемый канал; 21 — лоток-регулятор постоянства расхода

реактиватора более концентрированной иловой смеси (4 ... 6 г/л) в аэротенк, где рабочая доза ила возрастает с 1,5 ... 2 до 3 ... 4 г/л, что способствует поддержанию оптимальной нагрузки на активный ил при ее увеличении и ее равномерному распределению в рабочем объеме сооружения за счет интенсивного продольного рецикла иловой среды.

Аэротенк с механической аэрацией (рис. 10.25, *б*) работает следующим образом. Исходная сточная вода *1* поступает в аэротенк 2, где она смешивается с возвратным активным илом, поступающим

из реактиватора *3*, и подвергается аэрации сжатым воздухом, истекающим из пневматических аэраторов *4*. Проходя аэротенк, иловая среда переливается во вторичные отстойники *5*, откуда бо́льшая часть осевшего активного ила *18* эрлифтами перекачивается в реактиватор, меньшая избыточная часть — в аэробный минерализатор *15*, а осветленная сточная жидкость проходит контактный резервуар *17* и удаляется за пределы сооружения.

В период увеличенного притока сточных вод происходит некоторое повышение (на 0,1 ... 0,2 м) динамического уровня в аэротенке за счет работы лотка-регулятора *21*. Одновременно с этим начинается последовательное включение механических аэраторов *10* рециркуляционных узлов *8*, в результате чего помимо введения в аэротенк дополнительного количества растворенного кислорода происходит отбор иловой среды из соответствующего отделения реактиватора. В результате этого происходит ступенчатое увеличение рабочей дозы ила в аэротенке по примерной схеме 2,3, 4 г/л. При включении первого по ходу жидкости механического аэратора продольный рецикл иловой среды носит локальный характер, при включении трех аэраторов продольным рециклом полностью охвачены рабочие объемы аэротенка и реактиватора.

Аэротенк со струйно-пневматической аэрацией (рис. 10.25, *в*) работает следующим образом. Исходная сточная вода *1* поступает в аэротенк *2*, где она смешивается с возвратным активным илом, поступающим из реактиваторов *3* через перепускные клапаны *9*, и подвергается аэрации сжатым воздухом с помощью пневматических аэраторов *4*. Пройдя цикл биологической очистки в аэротенке, очищенная сточная вода *7* отводится за пределы сооружения.

В период увеличенного притока сточных вод производится включение осевых насосов *14*, в результате чего концентрированная иловая среда, поступая в рециркуляционные узлы *8*, попадает в водоструйные колонны *11*. Одновременно с этим в водоструйную колонну вводят кислородсодержащий газ *13*, пузырьки которого в колонне, стремясь всплыть вверх, дробятся восходящими потоками иловой среды. Пузырьки кислорода, вынесенные за пределы колонны, поднимаются вверх, улавливаются зонтом *12* и вновь возвращаются в процесс растворения, что обеспечивает степень использования кислорода, близкую к 100%. Таким образом, принципы управления рабочими дозами ила, количеством вводимого кислорода и интенсивностью перемешивания аналогичны изложенным выше.

Управляемые аэротенки — новое перспективное направление биологической очистки сточных вод. Аэротенки данного типа обеспечивают стабильную и полную биологическую очистку сточных вод при колебаниях исходной технологической нагрузки в 2 ... 3 раза и более. Экономия электроэнергии при этом достигает 30 ... 50%, сокращение рабочего объема — в 1,5 ... 1,7 раза. Особенность расчета управляемых аэротенков заключается в определении рабочих объемов сооружения и расходов воздуха для трех (минимальный, средний,

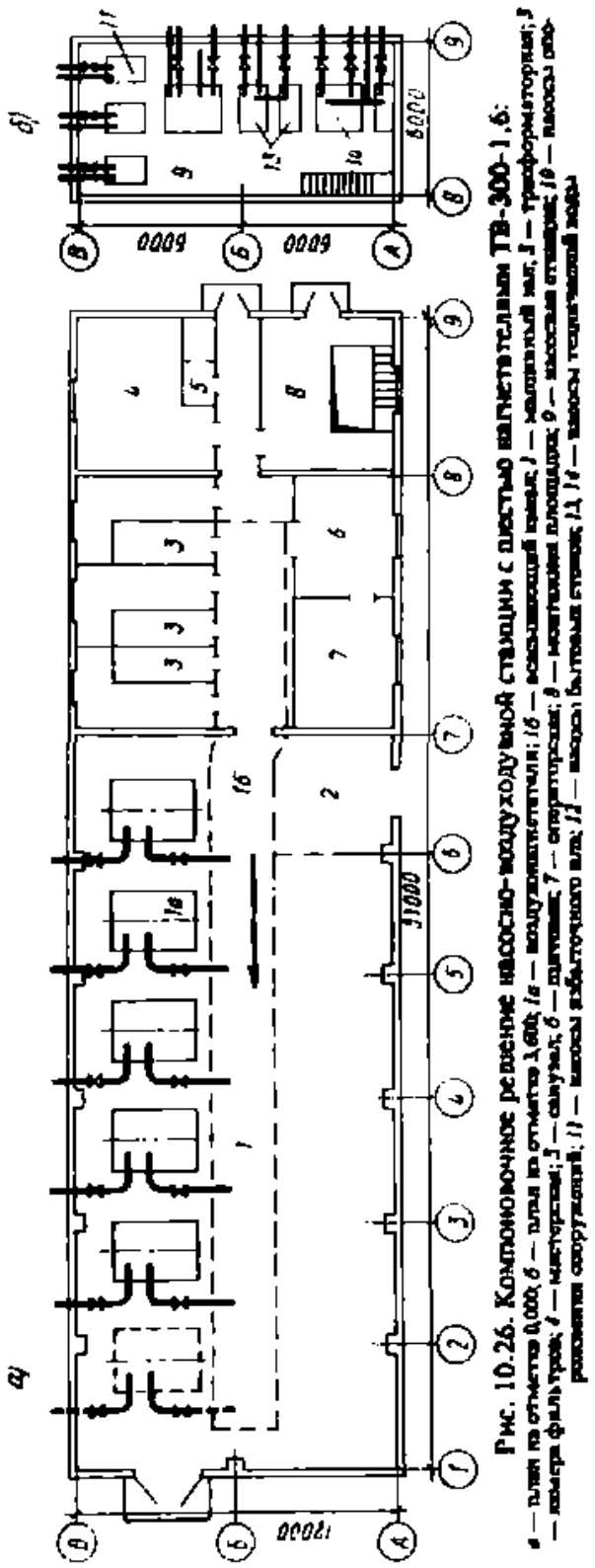


Рис. 10.26. Компоновочное решение насосно-воздуходувной станции с шестью вытеснителями ТВ-300-1,6:
а — план на отметке 0,000; б — план на отметке +6,600; 1а — воздуходувная машина; 1 — машинный зал; 2 — трансформаторная; 3 — камера фильтров; 4 — мастерская; 5 — кладовая; 6 — щитовая; 7 — операторская; 8 — монтажная площадка; 9 — насосная станция; 10 — насосы оборотного водоснабжения сооружений; 11 — насосы хозяйственно-бытовой станции; 12 — насосы технической воды

максимальный) уровней технологической нагрузки, когда различным расходам и концентрациям исходных загрязнений соответствуют различные (оперативно управляемые) дозы активного ила. Расчет проводят по формулам СНиП 2.04.03—85 для аэротенков-смесителей с отдельной регенерацией активного ила. Концентрация растворенного кислорода в аэротенке принимается не ниже 3 мг/л. Скорость окисления органических загрязнений в управляемом аэротенке в 1,6 ... 1,7 раза выше этой величины для аэротенков традиционных типов.

10.7. Воздуходувные станции

Воздуходувные станции предназначены для подачи сжатого воздуха к основным потребителям станции аэрации: аэротенкам, преаэраторам, смесителям, аэробным минерализаторам ила, реагентному хозяйству, вакуум-фильтрам, аэрируемым прудам и другим объектам. Комплекс сооружений воздуходувной станции включает: главное здание, водоохлаждающие сооружения (градирня, бассейн) для оборотной воды от охлаждения оборудования, воздушные магистрали и основные ответвления.

В главном здании размещаются основное оборудование (воздуходувные машины), насосы для подачи технической воды, устройства для очистки воздуха от пыли, насосы для перекачки циркулирующего

активного ила или для опорожнения емкостных сооружений, центральный диспетчерский пункт, электрораспределительное устройство и трансформаторная (обычно обслуживающие весь узел очистных сооружений), вспомогательные и бытовые помещения. Воздухоочистительные устройства, а также насосные станции могут располагаться вне главного здания. В случае применения на станции аэрации флотационного илоразделения в главном здании дополнительно устанавливаются компрессоры и напорные емкости рабочей жидкости. Схема компоновки основных служб в главном здании представлена на рис. 10.26.

Для подачи воздуха нормального давления 0,16 ... 0,17 МПа, но не более 0,185 ... 0,19 МПа обычно применяют центробежные воздуходувки и нагнетатели (табл. 10.12, рис. 10.27), а для малых

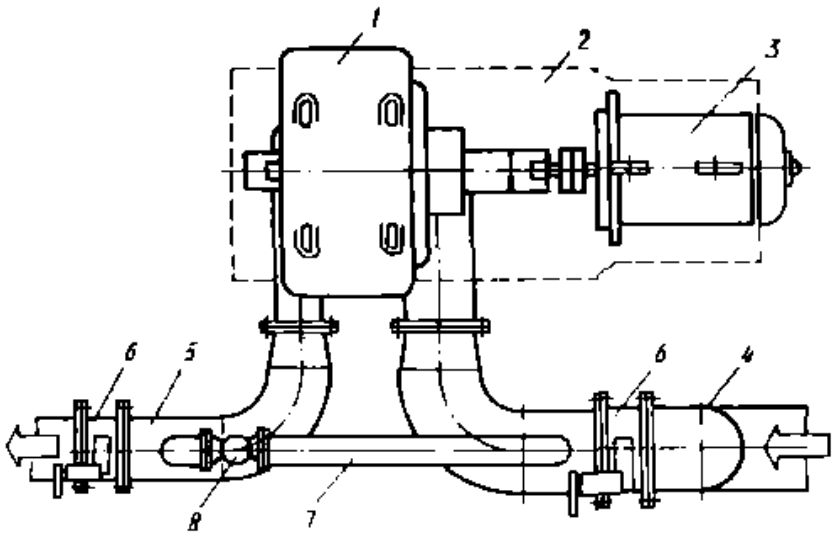


Рис. 10.27. Узел установки воздухонагнетателя марки ТВ (план):
1 — машина; 2 — фундамент; 3 — электродвигатель; 4 — всасывающий трубопровод; 5 — напорный трубопровод; 6 — электроприводные заслонки; 7 — перемычка; 8 — электроприводная задвижка

установок водокольцевые насосы-воздуходувки типа ВК. Насосы оборудованы воздухосборниками, из которых выводится вода, частично уносимая с воздухом из корпуса насоса. Предварительной очистки воздуха в этом случае не требуется. В отдельных случаях на малых очистных станциях для подачи воздуха могут быть использованы и шестеренчатые компрессоры и газодувки серии 2АФ. При использовании биоокислителей с низконапорной системой аэрации обычно применяют вентиляторы высокого давления (0,2 ... 0,8 м вод. ст.) марки В.Ц6.

Выбор воздуходувных машин определяется количеством воздуха, потребляемого на станции аэрации, и давлением нагнетания воздуха, которое устанавливается при расчете системы воздухово-

дов. Установленная мощность электродвигателя воздуходувных машин, кВт,

$$N = 0{,}273QP/\eta_в, \qquad (10.33)$$

где Q — подача воздуха, м^3/ч; P — давление (избыточное), МПа; $\eta_в$ — коэффициент полезного действия агрегата, для турбовоздуходувок равный 0,65 ... 0,75.

Таблица 10.12. Технические данные турбовоздуходувок и нагнетателей

Марка машины	Производительность, м^3/ч	Давление нагнетания, МПа	Частота вращения, мин$^{-1}$	Мощность электродвигателя, кВт	Габариты агрегата, м			Масса, кг	
					длина	ширина	высота	машины	электродвигателя
ТВ-42-1,4	3600	0,14	2940	55	2,52	1,55	1,4	3470	355
ТВ-50-1,6	3600	0,16	2960	100	2,63	1,55	1,5	4445	635
ТВ-80-1,4	6000	0,142	2960	100	2,75	1,55	1,4	3860	430
ТВ-80-1,6	6000	0,163	2970	160	2,85	1,55	1,4	4440	730
ТВ-80-1,8	6000	0,177	2965	200	3,06	1,55	1,5	5545	825
ТВ-175-1,6	10 000	0,163	2970	320	3,32	1,68	1,6	5190	1780
ТВ-300-1,6	18 000	0,16	2970	400	3,63	1,90	1,7	6860	2080
360-21-1	22 500	0,18	3000	800	6	3,2	3	8360	4620
750-23-6	43 200	0,162	3000	925	6,3	3,7	3,5	12 200	4950
1200-25-3	47 400	0,155	3000	1000	6,5	3,8	4	16 000	5320

Для крупных и средних воздуходувных станций рекомендуется проверять параллельную работу воздуходувок и воздухопровода, для чего используют характеристики $Q - H$ (рис. 10.28) и определяют «рабочую точку» подачи воздуха аналогично ее определению для насосов. Воздуходувки типа ТВ имеют систему смазки с охлаждением масла водой непосредственно в подшипниках. Расход воды для маслоохладителей нагнетателей марок 360-21-1, 750-23-6 и 1200-25-3 составляет соответственно 20, 30 и 40 м^3/ч при напоре 30 м, потеря напора около 7 м. Оборотная система охлаждающей воды включает устройство градирни или охлаждающего бассейна. Воздухоприемники для забора атмосферного воздуха располагают на высоте 4 м от поверхности земли. Перед воздуходувками марки ТВ устанавливают рулонные матерчатые фильтры для предотвращения засорения мелкопузырчатых аэраторов в аэротенках.

При определении габаритов машинного зала проходы между выступающими частями агрегатов и расстояние от воздуходувных машин до продольной стены принимают не менее 1,5 м (со стороны электродвигателя это расстояние должно обеспечивать возможность

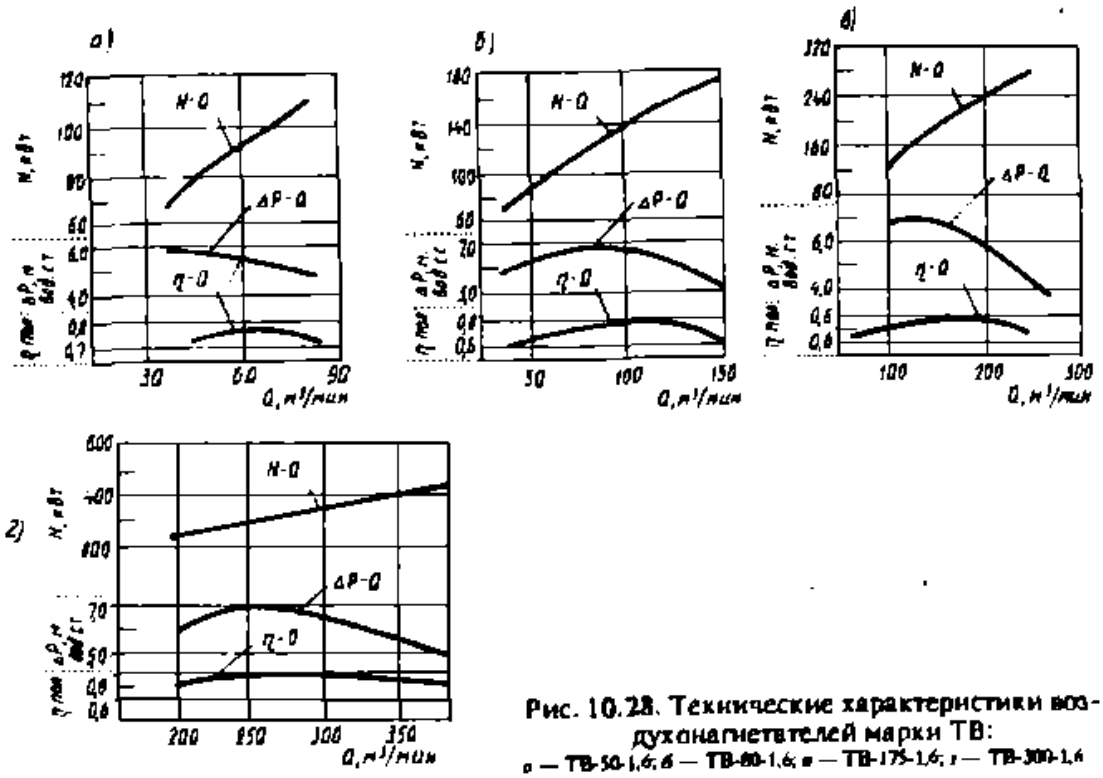


Рис. 10.28. Технические характеристики воздухонагнетателей марки ТВ:
а — ТВ-50-1,6; б — ТВ-80-1,6; в — ТВ-175-1,6; г — ТВ-300-1,6

демонтажа его ротора). Основные размеры воздуходувных станций в зависимости от их производительности представлены в табл. 10.13.

Таблица 10.13. Характеристика воздуходувных станций

Производительность станции по воздуху, тыс. м³/ч	Марка воздухонагнетателей	Число агрегатов всего/резервных	Установленная мощность, кВт	Размеры здания в плане, м	Строительный объем, м³
5 ... 10	ТВ-50-1,6	3/1	300	30x12	2850
15	ТВ-80-1,6	3/1	300	30x12	2850
25	ТВ-80-1,6	4/1	400	30x18	6420
40	ТВ-175-1,6	6/2	1920	42x12	5400
60	ТВ-175-1,6	8/2	2560	42x18	8260
70	ТВ-300-1,6	6/2	2400	45x12	5940
90	ТВ-300-1,6	8/2	3200	42x18	8260

Расчетное давление воздуха $H_{общ}$, необходимое при подаче его в воздухопроводную систему, равно

$$H_{общ} = h_{в.с} + h_{тр} + h_{взр} + h_{ст} + h_{изб}, \qquad (10.34)$$

где $h_{в.с}$ — потери напора (давления) на трение и местные сопротивления в воздуходувной станции (обычно 0,3 ... 0,5 м вод. ст.); $h_{тр}$ — потери напора на трение и местные сопротивления по

расчетному воздухопроводу; $h_{апр}$ — потери напора в аэраторах (в мелкопузырчатых 0,5 ... 0,7 м вод. ст); $h_{ст}$ — рабочая глубина аэротенка, м; $h_{изб}$ — избыточное (резервное) давление (около 0,5 м).

Диаметры d, м, участков воздухопровода определяют по формуле

$$d = 6{,}7\sqrt{\frac{Q_в(t_{сж}+273)}{pv}}, \qquad (10.35)$$

где $t_{сж}$ — температура сжатого воздуха:

$$t_{сж} = (t_в + 273)pQ_{сж}/(p_н Q_в - 273),$$

$Q_н$ — расход воздуха при нормальном давлении, м^3/с; $Q_{сж}$ — расход сжатого воздуха м^3/с; $p_н$ — нормальное давление наружного воздуха (0,1 МПа); p — среднее абсолютное давление воздуха на расчетном участке, МПа; $t_в$ — температура наружного воздуха; v — скорость движения воздуха, м/с.

10.8. Биофильтры. Общие сведения

Биологический фильтр — очистное сооружение, заполненное загрузочным материалом, через который фильтруется сточная вода и на поверхности которого развивается биологическая пленка, состоящая преимущественно из прикрепленных форм аэробных микроорганизмов. Очистка сточных вод осуществляется вследствие жизнедеятельности указанных микроорганизмов. По характеру загрузочного материала различают биологические фильтры с объемной (зернистой) и плоскостной загрузкой. Биофильтры классифицируются по различным признакам. По степени очистки — на биофильтры, работающие на полную и неполную очистку. По способу подачи воздуха — на биофильтры с естественной вентиляцией и искусственной подачей воздуха (аэрофильтры). По количеству ступеней очистки — на биофильтры одноступенчатые и двухступенчатые. Двухступенчатые биофильтры применяются при необходимости более высокой степени очистки и при отсутствии возможности увеличить высоту слоя загрузки в объеме одноступенчатого биофильтра. По характеру загрузочного материала — на биофильтры с объемной загрузкой и с плоскостной загрузкой.

В биологических фильтрах с объемной загрузкой используют щебень прочных горных пород, гальку, шлак, керамзит. Тщательно отсортированный загрузочный материал должен быть прочным и морозостойким и должен выдерживать без потери прочности: нагрузку не менее 100 кПа при насыпной плотности до 1000 кг/м^3 в естественном состоянии; 5-кратную пропитку насыщенным раствором сернокислого натрия; 10-кратное замораживание; кипячение в течение 1 ч в 5%-ном растворе соляной кислоты. Биологические фильтры с объемной загрузкой могут быть капельными, высоконагружаемыми и башенными.

Биологические фильтры с плоскостной загрузкой по характеру загрузочного материала различаются: с жесткой засыпной загрузкой из пластмассовых колец, обрезков труб, шариков и других материалов; с жесткой блочной загрузкой, изготовляемой из плоских или гофрированных листов, монтируемых в блоки; с мягкой загрузкой из металлических сеток, полимерных пленок или синтетических тканей, прикрепляемых на каркасах или укладываемых в виде рулонов. Материал для плоскостных загрузок должен обладать механической прочностью, стойкостью к биологическому разложению и не выделять токсичных для микроорганизмов компонентов.

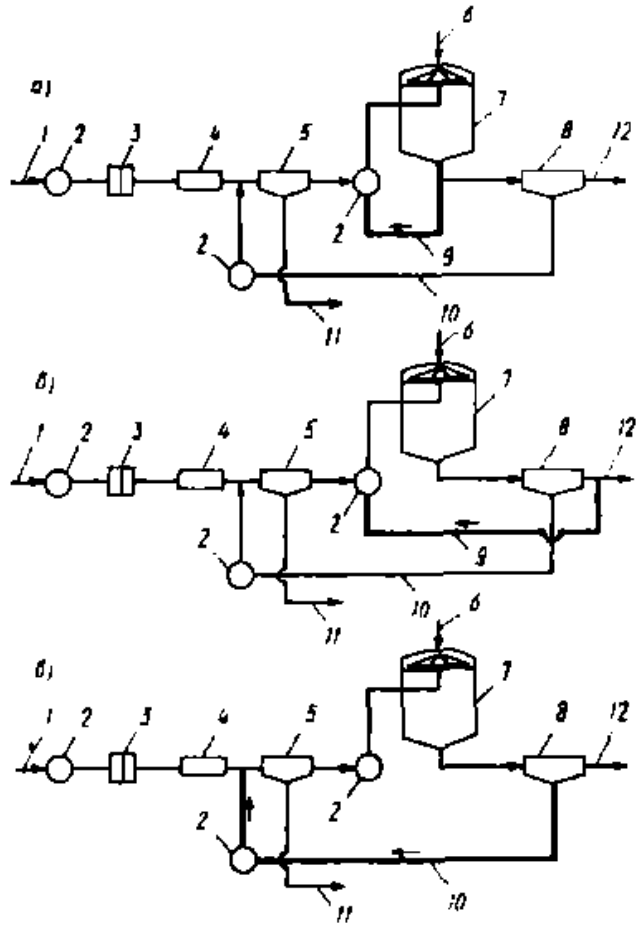


Рис. 10.29. Биофильтры с рециркуляцией:
а, б, в — варианты рециркуляции; 1 — исходная сточная вода; 2 — насосная станция; 3 — решетка; 4 — песколовка; 5 — первичный отстойник; 6 — аэрация; 7 — биофильтр; 8 — вторичный отстойник; 9 — рецикл сточной жидкости; 10 — возврат биопленки; 11 — избыточный ил; 12 — очищенная сточная вода

Применяются также погружные биофильтры, представляющие собой покрытые биопленкой вращающиеся диски, барабаны или другие конструкции, частично погруженные в сточную воду.

Рециркуляция является средством интенсификации работы биофильтров. Различают рециркуляцию биопленки, активного ила и очищенной сточной жидкости, отбираемой на рецикл как до, так и после вторичных отстойников. Рециркуляция очищенной воды в биофильтрах (рис. 10.29) вносит в загрузку дополнительное количество растворенного кислорода, снижает исходную концентрацию загрязнений в поступающей сточной воде, способствует выносу отмирающей биопленки и выравнивает гидравлическую нагрузку на сооружение в условиях неравномерного притока.

10.9. Капельные биофильтры

Капельные биофильтры в зависимости от их производительности и среднегодовой температуры воздуха обычно размещают в отаплива-

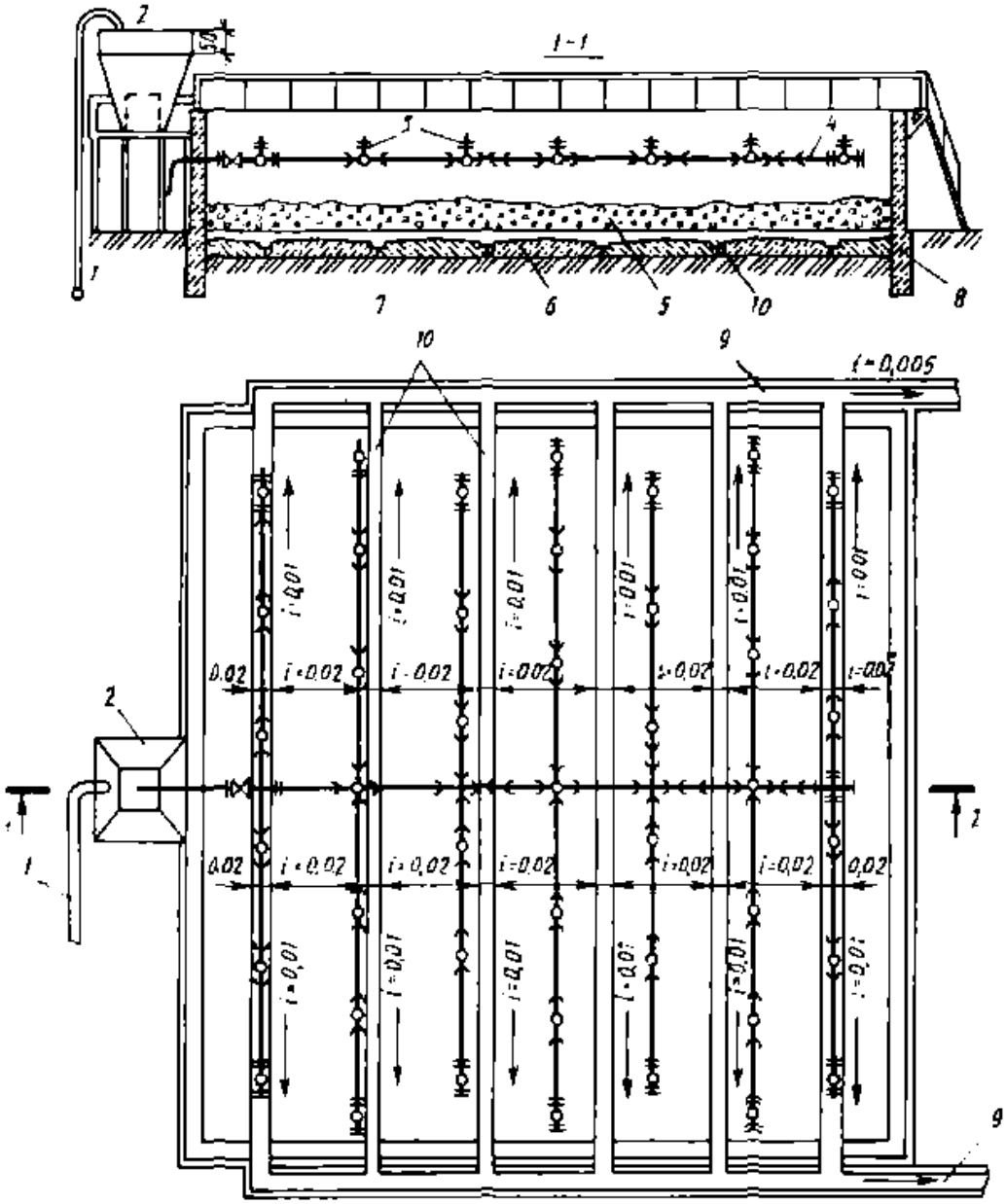


Рис. 10.30. Схема биологического фильтра:
1 — подающий трубопровод; 2 — дозирующий бак; 3 — спринклеры; 4 — распределительная сеть; 5 — фильтрующая загрузка; 6 — сплошное днище; 7 — дырчатое дно (дренаж); 8 — ограждающие стены; 9 — сборный лоток; 10 — лотки в сплошном днище

емых или неотапливаемых помещениях (рис. 10.30). Используют загрузочный материал с крупностью фракций 25 ... 40 мм; рабочая высота фильтра 1,5 ... 2 м. Нижний поддерживающий слой высотой 0,2 м загружается материалом крупностью 70 ... 100 мм. Вентиляция биофильтра естественная и происходит через отверстия в его стенах, расположенные по периметру междудонного пространства и оборудованные жалюзийными заслонками. Площадь вентиляционных отверстий должна составлять не менее 1% площади биофильтра.

Количество избыточной биопленки по сухому веществу 8 г/сут на одного человека, влажность пленки — 96%.

При расчете капельных биофильтров необходимо определять коэффициент $k = L_0/L_t$. Высоту фильтра H и гидравлическую нагрузку q определяют с учетом среднезимней температуры сточной воды T и вычисленного значения k (табл. 10.14). Площадь биофильтра f, м^2, определяют по формуле $f = Q/q$, где Q — расчетный расход

Таблица 10.14. Расчетные параметры капельных биофильтров

Гидравлическая нагрузка q, м^3/м^2·сут	Коэффициент k при температуре T, °С, и высоте Н, м							
	$T = 8$		$T = 10$		$T = 12$		$T = 14$	
	$H = 1,5$	$H = 2$	$H = 1,5$	$H = 2$	$H = 1,5$	$H = 2$	$H = 1,5$	$H = 2$
1	8	11,6	9,8	12,6	10,7	13,8	11,4	15,1
1,5	5,9	10,2	7	10,9	8,2	11,7	10	12,8
2	4,9	8,2	5,7	10	6,6	10,7	8	11,5
2,5	4,3	6,9	4,9	8,3	5,6	10,1	6,7	10,7
3	3,8	6	4,4	7,1	6	8,6	5,9	10,2

сточных вод, м^3/сут. При $L_0 > 220$ мг/л необходимо предусматривать рециркуляцию, при этом допустимую $БПК_{полн}$ смеси исходной и рециркуляционной сточной воды вычисляют по формуле $L_{см} = kL_t$.

С учетом степени рециркуляции R, равной $R = (L_0 - L_{см})/(L_{см} - L_t)$, площадь биофильтра с рециркуляцией равна $f = Q(R+1)/q$.

10.10. Высоконагружаемые биофильтры

Высоконагружаемые биофильтры отличаются от капельных более высокой окислительной мощностью и могут быть с естественной и искусственной аэрацией (аэрофильтры). Особенностью аэрофильтров является специальная конструкция днища и дренажа, обеспечивающая возможность искусственной продувки материала загрузки воздухом, рис. 10.31. При использовании реактивных оросителей сточные воды под напором 0,5 ... 1 м поступают во вращающийся вокруг своей вертикальной оси стояк. К стояку консольно прикреплены от двух до четырех радиально расположенных дырчатых труб. Через отверстия диаметром 10 ... 15 мм в трубах сточные воды выливаются на поверхность биофильтра. Под действием возникающей при этом реактивной силы ороситель вращается со скоростью около 10 об/мин. Воздух в междудонное пространство подается вентиляторами под давлением 100 мм вод. ст (981 Па). Удельный расход воздуха принимается равным 8 ... 12 м^3 на 1 м^3 очищаемой воды. Для предотвращения потери воздуха на отводных каналах устраиваются гидравлические затворы глубиной не менее 0,2 м. При величине

$L_0 \leq 300$ мг/л аэрофильтры работают без рециркуляции, при $L_0 > 300$ мг/л необходимо предусматривать рециркуляцию, определяя ее кратность аналогично капельным биофильтрам. Высоту аэрофильтра H, гидравлическую нагрузку q, удельный расход воздуха B определяют в зависимости от среднезимней температуры сточной

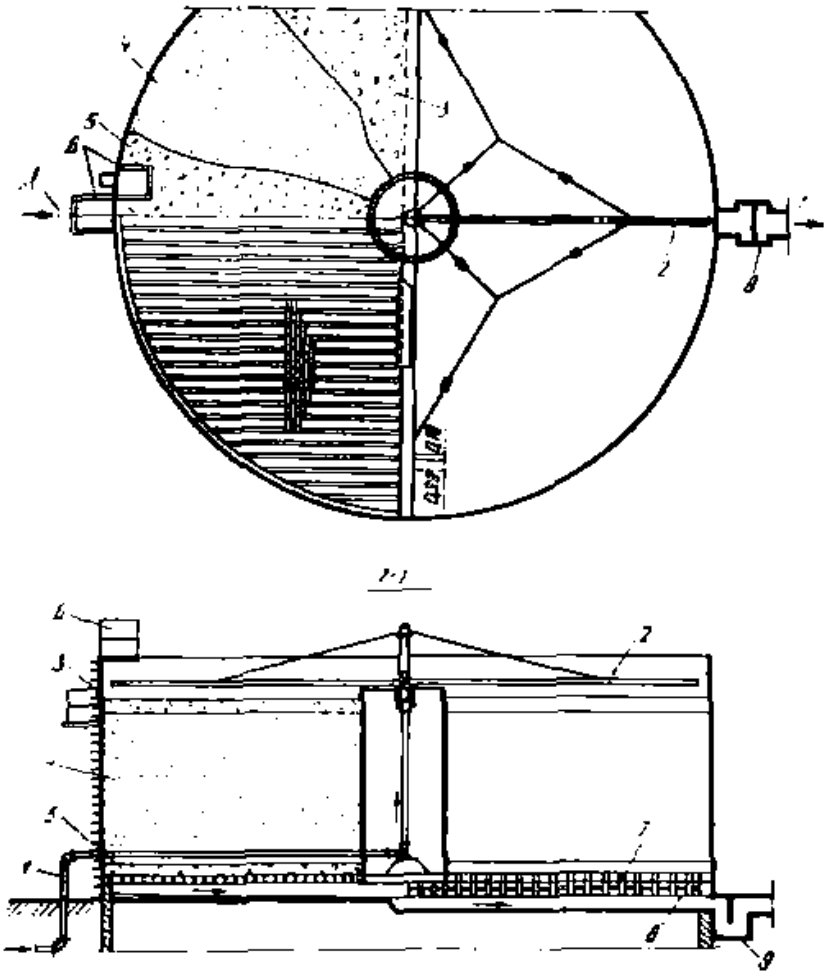


Рис. 10.31. Высоконагружаемый биофильтр с реактивным оросителем:

1 — подающий трубопровод; 2 — реактивный ороситель; 3 — слой загрузки крупностью 80 ... 100 мм; 4 — слой загрузки крупностью 40 ... 80 мм; 5 — слой загрузки крупностью более 80 мм; 6 — площадка обслуживания; 7 — дренаж; 8 — отводящий лоток; 9 — гидравлический затвор (при использовании принудительной вентиляции)

воды T и вычисленного значения k (табл. 10.15). Основные конструктивные параметры типовых аэрофильтров с реактивными вращающимися оросителями представлены в табл. 10.16.

Биофильтры с пластмассовой загрузкой эффективны при неполной биологической очистке в качестве первой ступени. В качестве загрузки фильтров обычно применяют пластмассы в виде гофрирован-

Таблица 10.15. **Расчетные параметры аэрофильтров**

B: м^3/м^2	H, м	Коэффициент k при T, °С; H, м; q, м^3/м^2·сут											
		$T = 8$			$T = 10$			$T = 12$			$T = 14$		
		q=10	q=20	q=30	q=10	q=20	q=30	q=10	q=20	q=30	q=10	q=20	q=30
8	2	3,02	2,32	2,04	3,38	2,5	2,18	3,76	2,74	2,36	4,3	3,02	2,56
	3	5,25	3,53	2,89	6,2	3,96	3,22	7,32	4,64	3,62	8,95	5,25	4,09
	4	9,05	5,37	4,14	10,4	6,25	4,73	11,2	7,54	5,56	12,1	9,05	6,54
10	2	3,69	2,89	2,58	4,08	3,11	2,76	4,5	3,36	2,93	5,09	3,67	3,16
	3	6,1	4,24	3,56	7,08	4,74	3,94	8,23	5,31	4,36	9,9	6,04	4,84
	4	10,1	6,23	4,9	12,3	7,18	5,68	15,1	8,45	6,88	16,4	10	7,42
12	2	4,32	3,88	3,01	4,76	3,72	3,28	5,31	3,98	3,44	5,97	4,31	3,7
	3	7,25	5,01	4,18	8,35	5,55	4,78	9,9	6,35	5,14	11,7	7,2	5,72
	4	12	7,35	5,83	14,8	8,5	6,2	18,4	10,4	7,69	23,1	12	8,83

Таблица 10.16. **Конструктивные параметры аэрофильтров**

Диаметр аэрофильтра, м	Производительность, м^3/сут	Высота загрузки, м	Объем загрузки, м^3		Общий объем загрузки, м^3	Число отверстий в плече оросителя
			крупностью 60 ... 100 мм	крупностью 40... 60 мм		
6	570[1]	2,3	6	57	63	15
	570[2]	4	6	106	112	
12	2300[1]	2,3	23	235	258	30
	2300[2]	4	23	427	450	
18	5100[1]	2,3	51	530	581	45
	5100[2]	4	51	963	1014	
24	9000[1]	2,3	90	944	1034	60
	9000[2]	4	90	1712	1802	
30	14 000[1]	2,3	142	1478	1620	75
	14 000[2]	4	142	2680	2822	

[1] Эффект снижения БПК$_{полн}$ 75 %.
[2] Эффект снижения БПК$_{полн}$ 90 %.

ных листов, способные выдерживать температуру 6 ... 30° С без потери прочности. Биофильтры с пластмассовой загрузкой размещают в отапливаемых помещениях. В отечественной практике для биофильтров с пластмассовой загрузкой без рециркуляции допустима $L_a \leq 250$ мг/л, рабочая высота загрузки 3 ... 4 м и естественная аэрация. Гидравлическую нагрузку q, м^3/м^2·сут, в зависимости от остальных параметров определяют по табл. 10.17.

Таблица 10.17. Расчетные параметры биофильтров с пластмассовой загрузкой

Эффект очистки Э, %	Гидравлическая нагрузка q, $м^3/м^2 \cdot сут$, при высоте загрузки H, м							
	$H = 3$				$H = 4$			
	Температура сточных вод T, °С							
	8	10	12	14	8	10	12	14
90	6,3	6,8	7,5	8,2	8,3	9,1	10	10,9
85	8,4	9,2	10	11	11,2	12,3	13,5	14,7
80	10,2	11,2	12,3	13,3	13,7	15	16,4	17,9

10.11. Отстойники вторичные, илоотделители тонкослойные и флотационные

Вторичные отстойники используются для отделения активного ила или биопленки, поступающих вместе с очищенной водой из аэробных биоокислителей (аэротенки, биофильтры, окислители со смешанной микрофлорой). Вторичные отстойники конструктивно аналогичны первичным и бывают вертикальными, диагональными, радиальными, горизонтальными. Основные отличия вторичных отстойников от первичных заключаются в характере механизмов для сбора и удаления осадка и связанной с этим конструкцией днища. Так, например, применение скребковых устройств во вторичных отстойниках нежелательно ввиду взмучивания активного ила при их работе. Применение же илососов во вторичных радиальных отстойниках обусловливает плоскую форму их днища. Некоторые перспективные конструкции вторичных отстойников представлены на рис. 10.32. Нагрузку q_0, $м^3/(м^2 \cdot ч)$, на поверхность вторичных отстойников после биофильтров всех типов следует рассчитывать по формуле

$$q_0 = 3{,}6ku_0, \tag{10.36}$$

где u_0 — гидравлическая крупность биопленки (при полной биологической очистке $u_0 = 1{,}4$ мм/с), а k — коэффициент объемного использования отстойников различных типов. Вторичные отстойники всех типов после аэротенков рассчитывают по гидравлической нагрузке q_0, $м^3/м^2 \cdot ч$) — с учетом концентрации активного ила a, г/л, в аэротенке, его индекса J, $см^3/г$, и концентрации выносимой иловой взвеси в осветленной воде a_1, мг/л:

$$q_0 = \frac{4{,}5kH^{0,8}}{(0{,}1aJ)^{0,5-0,01a_1}}, \tag{10.37}$$

где H — глубина проточной части отстойника, м.

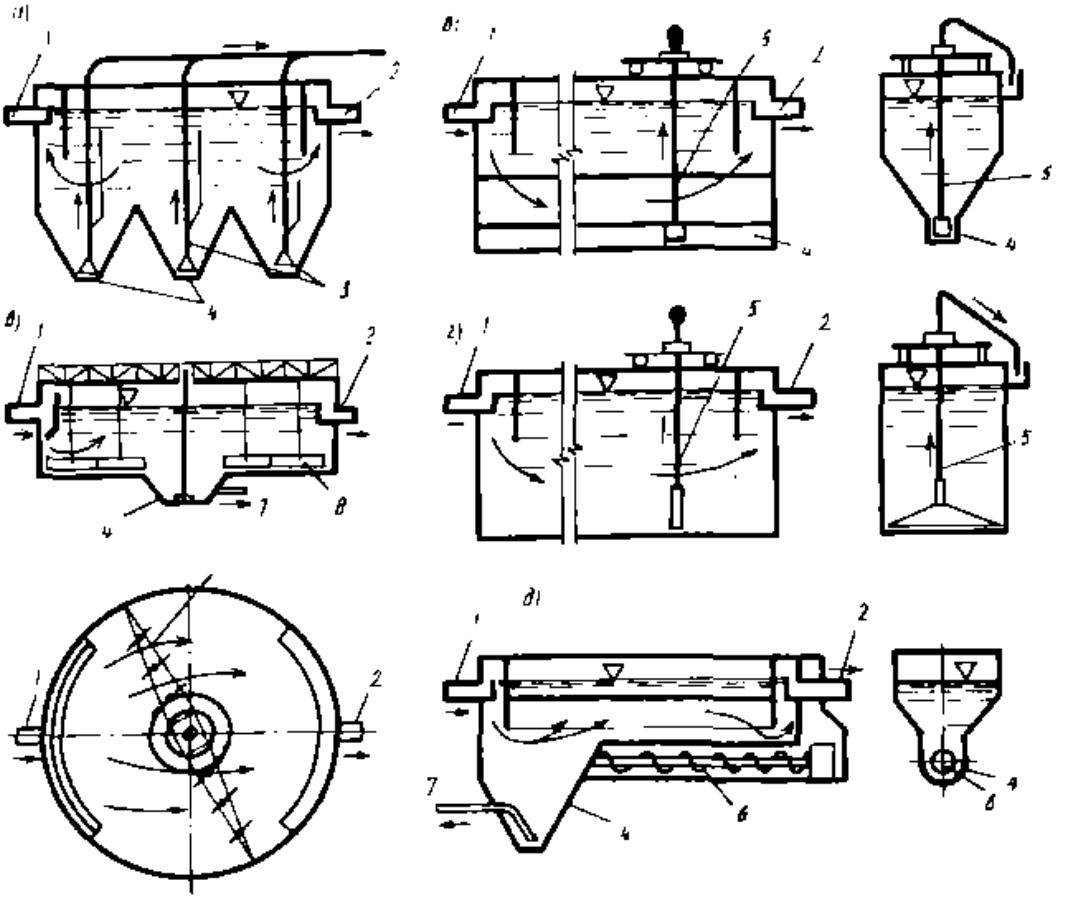


Рис. 10.32. Схемы горизонтальных вторичных отстойников:
а — многобункерный горизонтальный илоотделитель; *б* — горизонтальный отстойник с призматическим днищем; *в* — круглый горизонтальный отстойник; *г* — горизонтальный отстойник коридорного типа; *д* — горизонтальный отстойник со шнековым скребком; *1, 2* — подача и отвод сточных вод соответственно; *3* — эрлифты; *4* — приямок для сбора осадка; *5* — плосок; *6* — шнековый скребок; *7* — илопроводы; *8* — скребковый механизм

Эффективность работы вторичных отстойников (вынос взвешенных веществ a_t, мг/л, в зависимости от продолжительности отстаивания T, ч, и $БПК_{полн}$ очищенной воды, L_t, мг/л) представлена в табл. 10.18.

Таблица 10.18. Эффективность работы вторичных отстойников

T, ч	L_t = 15 мг/л	L_t = 20 мг/л	L_t = 25 мг/л	L_t = 50 мг/л	L_t = 75 мг/л	L_t =100мг/л
0,75	21	27	33	66	86	100
1,0	18	24	29	59	78	93
1,5	15	20	25	51	70	83
2,0	12	16	21	45	63	75

Гидравлическую нагрузку q_0 на вторичные илоотделители со взвешенным слоем активного ила в зависимости от параметра aJ принимают по табл. 10.19.

Таблица 10.19. **Гидравлическая нагрузка на вторичные илоотделители**

a_i	100	200	300	400	500	600
q_0, $м^3/(м^2 \cdot ч)$	5,6	3,3	1,8	1,2	0,8	0,7

Вертикальные вторичные отстойники в отличие от первичных имеют меньшую глубину проточной части и соответственно меньшую пропускную способность (табл. 10.20).

Таблица 10.20. **Основные параметры вторичных вертикальных отстойников**

Материал	Диаметр, м	Строительная высота, м			Пропускная способность, $м^3/ч$
		проточной части	осадочной части	общая	
Монолитный железобетон	4	2,1	1,8	3,9	25,2
	6	3,0	2,8	5,8	49,7
Сборный железобетон	6	3,0	3,3	6,3	49,4
	9	3,0	5,1	8,1	111,5

* При времени отстаивания 1,5 ч.

Для оборудования радиальных вторичных отстойников применяют илососы (рис. 10.33), которые представляют собой вращающийся механизм с сосунами и периферийным приводом. Забор ила через сосуны в илоотводящую систему происходит за счет разности уровней жидкости в отстойнике и камере выпуска. Через илоприемную трубу ил попадает в кольцевую камеру, откуда отводится из отстойника по трубе. Камера вращается вокруг центральной опоры на подшипниках и удерживается от вертикальных перемещений специальной вилкой, жестко связанной с илоприемной трубой. Основные параметры, типовых радиальных вторичных отстойников представлены в табл. 10.21.

В тонкослойных отстойниках рабочая зона за счет установки спецнальных секций делится на ряд наклонных слоев малой глубины. Типы тонкослойных отстойников различают по следующим признакам: по конструкции наклонных блоков и по наклону рабочих каналов относительно движения сточной воды. По конструкции наклонных блоков различают трубчатые и полочные отстойники. По наклону рабочих каналов относительно движения сточной воды различают отстойники, работающие по прямоточной, противоточной

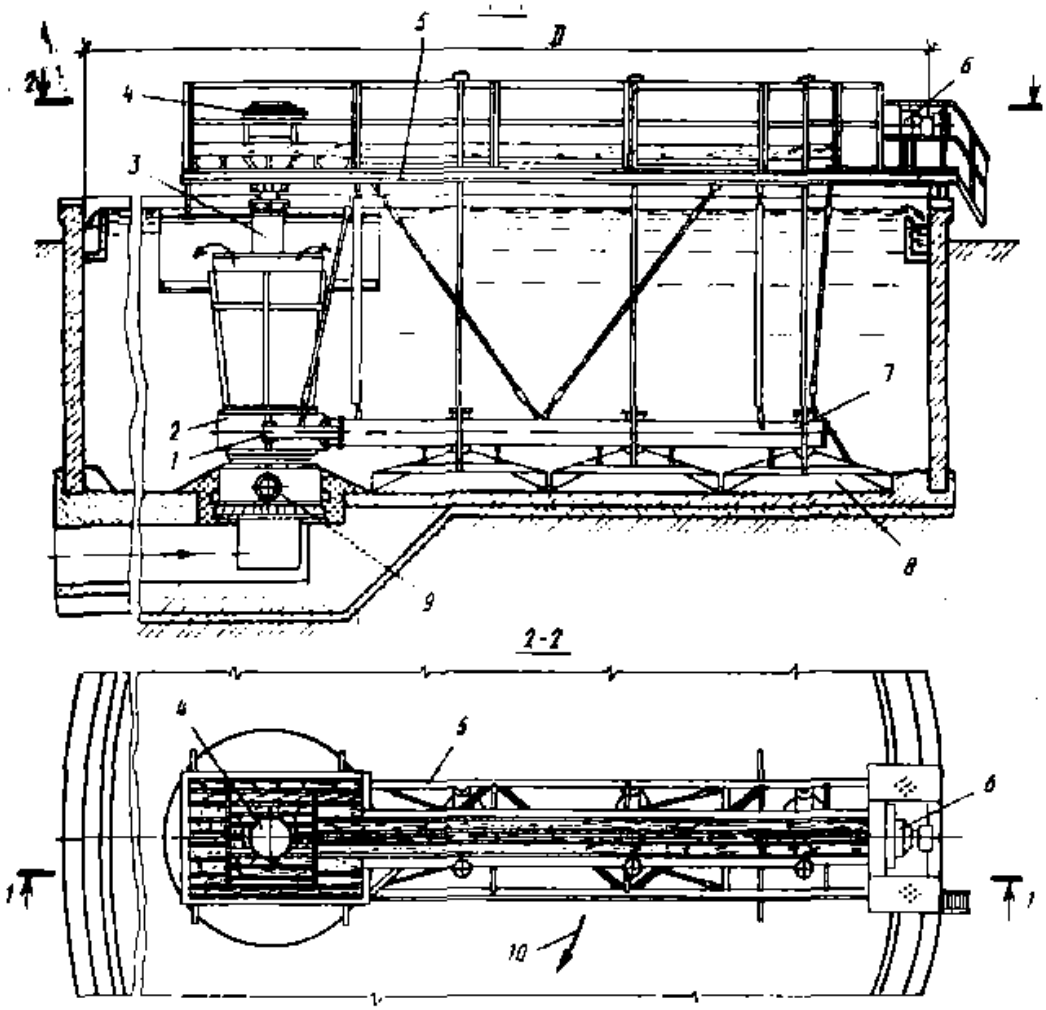


Рис. 10.33. Илосос радиального вторичного отстойника:
1 — упорная вилка; 2 — вращающаяся камера; 3 — центральная опора; 4 — кольцевой токоприемник; 5 — ферма моста; 6 — привод; 7 — илоприемная труба; 8 — сосуны для ила; 9 — труба для отвода ила; 10 — направление вращения илососа

Таблица 10.21. Основные параметры вторичных радиальных отстойников

Диаметр, м	Глубина, м	Объем, м^3			Пропускная способность, м^3/ч
		проточной части	осадочной части	общий	
18	3,7	788	160	948	525
24	3,7	1400	280	1680	930
30	3,7	2190	440	2630	1460
40	4,35	4580	915	5495	3054

* При времени отстаивания 1,5 ч.

или перекрестной схеме. При прямоточной и противоточной схемах выделяемый из сточных вод осадок движется соответственно по ходу движения сточных вод или в противоположном направлении, а при перекрестной схеме движение выделяемого осадка перпендикулярно движению сточных вод. Трубчатые секции имеют, как правило, круглое поперечное сечение, могут работать с более высокими скоростями по сравнению с полочными, но отличаются повышенной материалоемкостью. По этой причине, а также из-за сложности очистки от обрастаний и засорений трубчатые отстойники сравнительно редко применяются в качестве вторичных илоотделителей. Тонкослойные элементы полочного типа выполняются из плоских или гофрированных листов металла (сталь, алюминий), а также из пластмассы (полипропилена, полиэтилена, стеклопластика).

Тонкослойные отстойники могут быть вертикальными, радиальными, горизонтальными или промежуточных типов (рис. 10.34). Эти отстойники обычно состоят из четырех зон: водораспределительной,

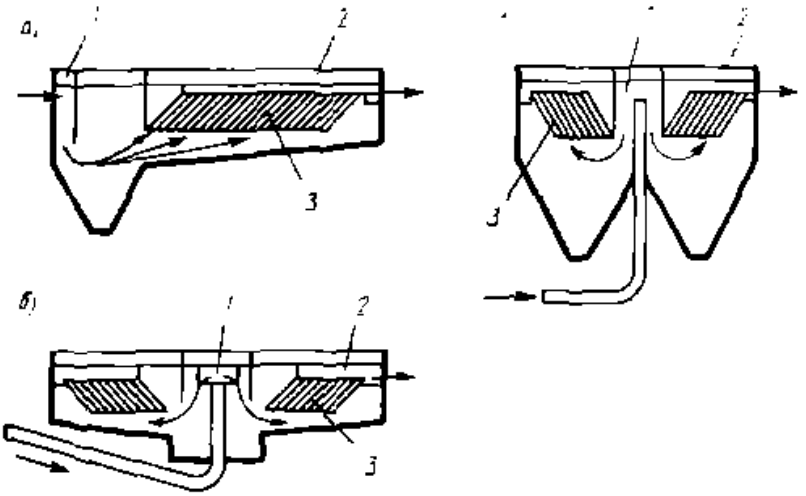


Рис. 10.34. Технологические схемы тонкослойных отстойников (механизм сбора и удаления осадка условно не показан):
а — горизонтальный; *б* — вертикальный; *в* — диагональный; *1* — узел впуска исходной сточной жидкости; *2* — сборный лоток осветленной сточной жидкости; *3* — тонкослойные модули

водосборной, проточной и осадочной. Проточная зона (тонкослойное пространство) занята полочными элементами, работающими, как правило, по противоточной или перекрестной схеме. В ряде случаев тонкослойные элементы занимают только небольшую часть проточной зоны, являясь по существу локальным конструктивным дополнением к водосборному лотку. Благодаря движению воды в наклонных секциях создаются благоприятные условия для осаждения взвешенных веществ по более короткой траектории, а выпавший осадок сползает в осадочную зону, откуда с помощью механических устройств или

под гидростатическим напором удаляется за пределы сооружения. Площадь поперечного сечения тонкослойного пространства ω, м^2, вычисляется по формуле $\omega = Q/v$. Скорость потока, v, м/ч, определяется из условия обеспечения ламинарного режима течения воды ($Re \leq 500$) в ярусах и трубах тонкослойного пространства по уравнению

$$v = Re\chi\nu/\omega, \tag{10.38}$$

где χ — смоченный периметр 1 м ширины яруса полочного или трубчатого элемента, м; ν — кинематическая вязкость сточной воды, мм^2/с.

Скорость потока для полочных элементов принимается равной 5 ... 10 мм/с, для трубчатых элементов — до 20 мм/с. Высоту тонкослойного пространства H рекомендуется принимать 1 ... 2 м. Его ширину B, м, определяют по формуле $B = \omega/H$. Продолжительность отстаивания

$$T = h_0/3600u_0, \tag{10.39}$$

где h_0 — высота яруса по вертикали, равная 50 ... 150 мм.

Угол наклона яруса принимается 54 ... 60°. Длина яруса L, м, в тонкослойном пространстве находится по формуле $L \approx 1{,}3v$. Производительность отстойников с тонкослойными блоками при противоточной схеме работы, м^3/ч,

$$q = 3{,}6kHBv, \tag{10.40}$$

где k — коэффициент объемного использования для данного типа отстойников. Применение тонкослойных элементов позволяет значительно сократить продолжительность отстаивания и, следовательно, рабочий объем отстойников, хотя несколько повышает их материальность.

Флотационные илоотделители, работающие по схеме прямой напорной флотации с насыщением воздухом рабочей жидкости, целесообразно применять при концентрациях активного ила в иловой смеси более 2 г/л. Напорные флотационные установки включают флотационные камеры, насосные группы, устройства для подачи воздуха и напорные баки. Флотационные камеры производительностью более 150 ... 200 м^3/ч иловой смеси рекомендуются вертикального типа — круглые или прямоугольные. Горизонтальные камеры целесообразны при производительности не более 100 ... 120 м^3/ч. Флотированную иловую массу концентрацией 20 ... 50 г/л с поверхности камеры сгребают скребками в иловый канал, по которому ее возвратная часть поступает в аэротенк, а избыточная часть ила отводится на дальнейшую обработку. В качестве рабочей жидкости используют техническую или очищенную сточную жидкость (рис. 10.35). Расход рабочей жидкости подбирают с таким расчетом, чтобы концентрация загрязнений в образующейся смеси была в пределах 1 ... 2 г/л, поскольку при этом из-за менее стесненных условий обеспечивается скорость всплывания мелких пузырьков во фло-

тационной камере, близкая к естественной. Флотационная камера делится вертикальной перегородкой на две части: приемную, куда перекачиваются сточные воды, и отстойную, где происходит их осветление. Объем приемной части назначается конструктивно, объем отстойной части — по табл. 10.22.

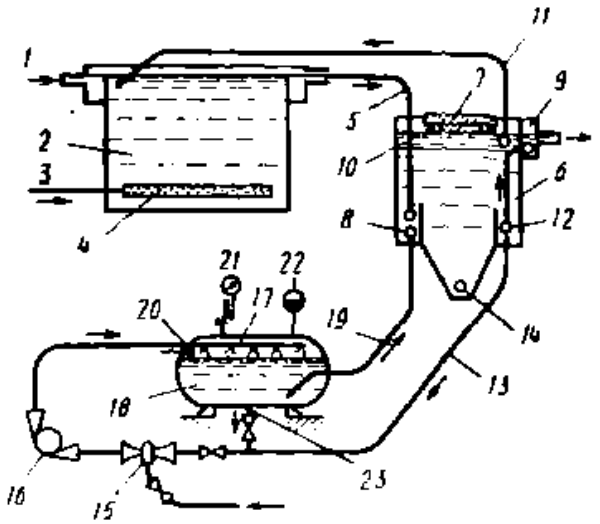


Рис. 10.35. Схема флотационного илоотделения:

1 — сточная жидкость после механической очистки; 2 — коротенк; 3 — подача воздуха; 4 — пневматический аэратор; 5 — иловая смесь; 6 — флотационная камера с напорным движением воды; 7 — скребок; 8 — приемное отделение; 9 — лоток осветленной воды; 10 — лоток флотированной иловой массы; 11 — конвейер металлического или коротенк; 12 — трубопровод осветленной жидкости; 13 — всасывающий трубопровод рабочей жидкости; 14 — осадкоотводящие трубы; 15 — эжектор; 16 — насос; 17 — трубопровод с разбрызгивающими форсунками; 18 — напорный бак горизонтального типа; 19 — напорный трубопровод рабочей жидкости; 20 — датчик уровня жидкости; 21 — манометр; 22 — клапан избыточного давления; 23 — циркуляционный трубопровод

В напорных баках происходит растворение компонентов воздуха в жидкости под избыточным давлением. Баки рекомендуется оборудовать дополнительными устройствами для перемешивания воды с воздухом с использованием рециркуляционных насосов и дырчатых разбрызгивателей. Для крупных очистных станций целесообразны напорные баки горизонтального типа. Производительность циркуляционного насоса при этом должна быть не менее половины расхода рабочей жидкости, проходящей через бак. Продолжительность насыщения жидкости воздухом в баке 3 ... 4 мин. При давлении в баке 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7 МПа растворимость компонентов воздуха в воде 18; 25; 35; 47; 58; 68; 80 л/м^3 соответственно. Оптимальное давление в баке при нормальных температурных условиях (15 ... 20° С) лежит в пределах 0,6 ... 0,9 МПа.

Таблица 10.22. **Расчетные параметры флотационных камер**

Параметр	Содержание выносимых взвешенных веществ, мг/л		
	15	10	5
Продолжительность флотации, мин	40	50	60
Удельный расход воздуха, л/кг, взвешенных частиц ила	4	6	9

10.12. Биологические пруды

Биологические пруды используют для очистки и доочистки городских сточных вод, а также различных видов производственных сточных вод, содержащих биоразлагаемые загрязнения. Целесообразность применения биологических прудов определяется климатическими условиями, концентрацией и расходом сточных вод, а также конкретными почвенными и топографическими условиями. По характеру обеспечения кислородного режима различают биопруды с естественной и искусственной аэрацией (аэрируемые биопруды). Примерная классификация прудов по режиму их работы представлена на рис. 10.36. При круглогодичной эксплуатации допускается применение биологических прудов с естественной аэрацией для IV климатической зоны, биологические пруды с искусственной аэрацией применимы в III—IV климатических зонах. Как правило, в остальных климатических зонах биологические пруды функционируют главным образом в теплое время года. При очистке в биологических прудах сточные воды не должны иметь начальную $БПК_{полн}$ выше 200 мг/л — для прудов с естественной аэрацией и свыше 500 мг/л — для прудов с искусственной аэрацией. При $БПК_{полн}$ выше 500 мг/л следует предусматривать предварительную очистку сточных вод. В пруды для доочистки следует направлять сточную воду после биологической или физико-химической очистки с $БПК_{полн}$ = 25 мг/л — для прудов с естественной аэрацией и более 50 мг/л — для прудов с искусственной аэрацией.

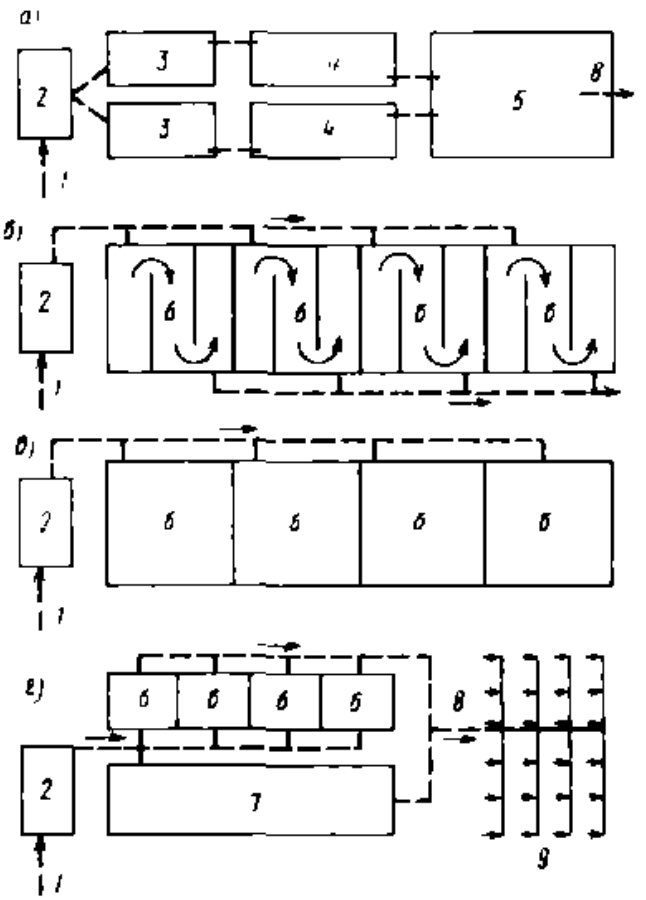


Рис. 10.36. Схемы биологических прудов:
а — проточные ступенчатые (каскадные); *б* — контактные; *в* — аэрируемые; *г* — контактно-аэрируемые; *1* — подача исходной сточной воды; *2* — механическая очистка; *3* — анаэробные пруды; *4* — факультативные пруды; *5* — аэробные пруды; *6* — контактные пруды; *7* — зимний накопитель; *8* — выпуск очищенных сточных вод; *9* — орошаемые угодья

Биологические пруды с естественной аэрацией следует устраивать на нефильтрующих или слабофильтрующих грунтах, состоящими не менее чем из двух параллельных секций с 3, 4, 5 последовательными ступенями в каждой, с возможностью отключения любой секции пруда для очистки или профилактического ремонта без нарушения работы остальных. Отношение длины к ширине пруда с естественной аэрацией должно быть не менее 20. При меньших отношениях надлежит предусматривать конструкции впускных и выпускных устройств, обеспечивающие наиболее полное использование рабочего объема пруда. Отметка лотка пропускной трубы из одной ступени в другую должна быть выше дна на 0,3 ... 0,5 м. Выпуск очищенной воды следует осуществлять через сборное устройство, расположенное ниже уровня воды на 0,15 ... 0,2 глубины пруда. Хлорирование воды производится, как правило, после биопрудов. Концентрация остаточного хлора в воде после контакта не должна превышать 0,25 ... 0,5 г/м^3. Время пребывания воды в ступенчатых прудах с естественной аэрацией, сут,

$$t=\frac{1}{k_0 k_T}\sum_{1}^{n-1}\lg\frac{L_0}{L_T}+\frac{1}{k_0' k_T}\lg\frac{L_0'-L_f}{L_t'-L_f}, \qquad (10.41)$$

где n — число последовательных ступеней пруда; k_0 — коэффициент объемного использования каждой ступени пруда (0,3 ... 0,9); k_0' — то же, последней ступени; k_T — константа скорости потребления кислорода (0.04 ... 0,07 сут$^{-1}$); L_0', L_t' — БПК$_{полн}$ воды, поступающей и выходящей из последней ступени пруда соответственно, мг/л; L_f — остаточная БПК$_{полн}$ = 2 ... 5 мг/л.

Для температур воды, отличающихся от 20° С, значение должно быть скорректировано по формулам:

для температуры воды от 5 до 30° С

$$k_T=k_{20^\circ C}1{,}047^{T-20}; \qquad (10.42)$$

для температуры воды от 0 до 5° С

$$k_T=k_{20^\circ C}[1{,}12(T+1)^{-0{,}022}]^{T-20} \qquad (10.43)$$

Общая площадь зеркала пруда с естественной аэрацией, м^2,

$$F=\frac{QC_a(L_0-L_t)}{k_0(C_a-C)r_a}, \qquad (10.44)$$

где r_a — величина атмосферной аэрации, равная 3 ... 4 г/м^2·сут.

Рабочая глубина пруда не должна превышать 0,5 м при 100 мг/л и 1 м при L_0 до 100 мг/л.

Время пребывания воды глубокой очистки в пруду с искусственной аэрацией, сут,

$$t=\frac{n}{2{,}3k_A}\left(n\sqrt{\frac{L_0}{L_0-L_f}}-1\right), \qquad (10.45)$$

где $k_д$ — динамическая константа, равная $k_д = \beta k$; здесь β — коэффициент, зависящий от скорости v, м/с, движения воды в пруде, определяемый по формуле $\beta = 1 + 120v$. Если $v > 0{,}05$ м/с, то $\beta = 7$. Для определения скорости движения в биопруду с механическими аэраторами применима формула (10.19).

Аэрируемые биологические пруды оснащают пневматическими или механическими аэраторами. Форма прудов в плане обычно квадратная

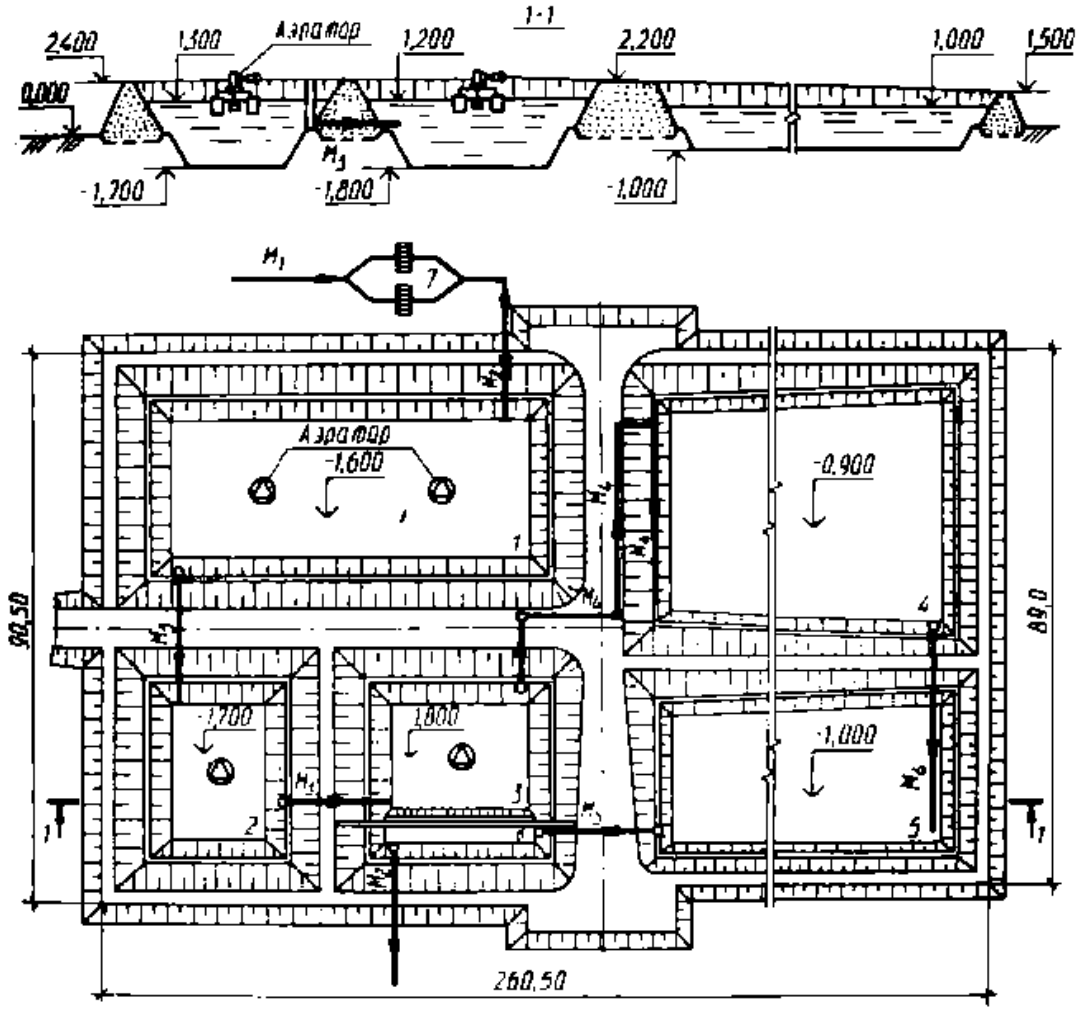


Рис. 10.37. Аэрируемые биопруды с механической и естественной аэрацией для глубокой очистки сточных вод производительностью 1400 м³/сут:

1, 2, 3 — биопруды I, II и III ступеней очистки соответственно; 4, 5 — биопруды I и II ступеней доочистки с естественной аэрацией; 6 — контактная емкость; 7 — решетки; M_1 ... M_5 — трубопроводы сточных вод

или прямоугольная, реже принимается круглая. Сооружения данного типа применяются для очистки и доочистки бытовых и близких к ним по составу производственных сточных вод с концентрацией по $БПК_{полн}$ 150 ... 400 мг/л. Станции очистки сточных вод в биопрудах обычно оснащаются решетками и хлораторными. Очищенная сточная

вода смешивается с хлорной водой и поступает в контактную емкость, где дезинфицируется и выпускается в водоем, $БПК_{полн}$ после прудов очистки — до 15 мг/л, после прудов доочистки — до 5 ... 6 мг/л. ЦНИИЭП инженерного оборудования разработаны типовые проекты аэрируемых биопрудов для IV климатического района производительностью 100, 200, 400, 700 и 1400 $м^3$/сут (рис. 10.37).

Конструктивно биопруды выполнены в виде земляных емкостей правильной формы, внутренние откосы которых выложены бетонными плитами 0,5×0,5 на глубине 2 м от верха дамбы.

Для повышения глубины очистки воды по $БПК_{полн}$=3 мг/л и снижения содержания в ней биохимических элементов (азота и фосфора) рекомендуется разведение в пруду высшей водной растительности — камыша, рогоза, тростника и др. Высшая водная растительность должна быть размещена в последней секции пруда при плотности посадки 150 ... 200 растений на 1 $м^2$ поверхности.

ГЛАВА 11

СООРУЖЕНИЯ ДООЧИСТКИ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД

11.1. Основные принципы доочистки сточных вод

Под доочисткой подразумевают методы и процессы, дополняющие традиционные технологические схемы двухступенчатой очистки (механическая + биологическая) сточных вод данного состава. Возможная степень удаления загрязнений в процессах третичной очистки (доочистки) практически неограничена и определяется условиями сброса очищенных сточных вод в водоемы, подачи воды на технические нужды, рекреационное обводнение или в систему питьевого водоснабжения. При этом должны учитываться экономические соображения.

Основные методы доочистки и условия их применения приведены в табл. 11.1.

Ниже рассматриваются установки доочистки городских сточных вод. Биологические пруды описаны в гл. 10.

11.2. Сетчатые фильтры

Барабанные сетки типа БСБ с бактерицидными лампами ДБ-60-1 используют в схемах доочистки биологически очищенных городских сточных вод перед фильтрами с зернистой загрузкой для выделения из воды крупных примесей, не оседающих во вторичных отстойниках. Производительность сетчатых барабанных фильтров и микрофильтров

Таблица 11.1. Методы доочистки городских сточных вод, области использования воды и критерии оценки

Методы доочистки	Назначение метода	Области использования доочищенной воды	Показатели, по которым определяют эффективность доочистки	Примечание
Фильтрование	Снижение содержания взвешенных веществ, легко окисляющихся органических соединений, частично бактериального загрязнения	Техническое водоснабжение, сброс в водоемы, орошение, пополнение запасов подземных вод	ХПК, БПК, содержание взвешенных веществ, микробное загрязнение	Перед использованием доочищенные воды нужно обеззараживать
Адсорбция	Очистка воды от растворенных органических соединений. В сочетании с другими методами — получение воды питьевого качества	То же, а также хозяйственно-питьевое водоснабжение	ХПК, БПК, содержание органических веществ, биохроматная окисляемость, соединения азота, микробное загрязнение	Поступающие на доочистку стоки должны быть освобождены от взвешенных и коллоидных веществ. Перед использованием доочищенные стоки необходимо обеззараживать
Биосорбция	Очистка воды от биологически трудноокисляемых органических веществ	В системах производственного водоснабжения	ХПК, БПК, микробное загрязнение	Перед использованием вода должна быть обеззаражена
Коагуляция, флотация	Очистка от растворенных органических, взвешенных, коллоидных веществ, фосфорных соединений, *бактериального* загрязнения	Техническое водоснабжение, сброс в водоемы	ХПК, БПК, окисляемость, содержание взвешенных веществ, фосфаты, органический фосфор, *остаточные концентрации* коагулянтов	Добавки флокулянтов улучшают процесс осветления. После коагуляции необходимо применение песчаных и угольных фильтров
Флотация	Очистка сточных вод от поверхностно-активных веществ	Техническое водоснабжение, сброс в водоемы	Содержание ПАВ, ХПК	Очищенная флотацией вода насыщена кислородом. Перед использованием доочищенные воды необходимо обеззараживать
Ультра- и гиперфильтрация	Деминерализация, полное удаление взвешенных	Опреснение высокоминерализованных вод	Сухой остаток, содержание органических веществ	Мембраны должны обладать селективно

Продолжение табл. 11.1

Методы доочистки	Назначение метода	Области использования доочищенной воды	Показатели, по которым определяют эффективность доочистки	Примечание
	и органических веществ, азота и фосфора, бактериального загрязнения, вирусов, а также извлечение ценных веществ их солей тяжелых металлов. В сочетании с другими методами — получение воды питьевого качества	Техническое водоснабжение, сброс в водоемы	специфических компонентов мембран, микроэлементы, микробное загрязнение	стью, высокой скоростью фильтрации, химической и механической прочностью. При получении воды для питья используются мембраны, допущенные к применению в водоснабжении
Электродиализ	Деминерализация, частичное удаление органических соединений, микробного загрязнения. В сочетании с другими методами — получение воды питьевого качества	Всевозможные области использования воды	Сухой остаток, содержание органических веществ, специфических компонентов мембран, микроэлементы, микробное загрязнение	Из воды не удаляются химические вещества неионогенной природы, требуется обязательное обеззараживание доочищенных стоков
Ионный обмен	Деминерализация, удаление органических примесей, соединений азота и фосфора, снижение микробного загрязнения. В сочетании с другими методами — получение воды питьевого качества	То же	Сухой остаток, микроэлементы, специфические вещества ионообменных смол, микробное загрязнение	Требуется обязательное обеззараживание доочищенных стоков. При получении воды питьевого качества используются смолы, допущенные к применению в водоснабжении
Окисление	Снижение органического загрязнения, мутности, цветности, микробного загрязнения. Озонирование удаляет детергенты, запахи, привкусы. В сочетании с другими методами — получение воды питьевого качества	Техническое водоснабжение, сброс в водоемы, питьевое водоснабжение	ХПК, БПК, содержание органических веществ, мутность, цветность, микробное загрязнение, остаточные количества окислителя	Исходная вода должна быть очищена от взвешенных веществ и растворенных газов. Особое внимание следует уделить определению недоокисленных продуктов органической природы

Продолжение табл. 11.1

Методы доочистки	Назначение метода	Области использования доочищенной воды	Показатели, по которым определяют эффективность доочистки	Примечание
Биологические	Окисление органических веществ, обогащенные растворенным кислородом, снижение содержания взвешенных веществ, соединений азота, фосфора и других биогенных элементов микробного загрязнения	Сброс в водоемы, техническое водоснабжение, орошение, пополнение запасов подземных вод	ХПК, БПК, растворенный кислород, азот, фосфаты, органический фосфор, микробное загрязнение	Исходная вода должна быть биохимически очищена

дана в табл. 11.2, а остальные технические данные приведены в § 5.3, табл. 5.4. Схема аналогична микрофильтрам.

Скорость фильтрации составляет до 100 м/ч, размер ячеек барабанной сетки от 0,3х0,3 до 0,5х0,5 мм. Снижение содержания загрязняющих веществ по взвеси 20 ... 25%, по $БПК_{полн}$ 5 ... 10%. Очистка сетки производится периодической промывкой водой, прошедшей барабанные фильтры под давлением 0,15 МПа с числом промывок 8 ... 12 раз в сутки, продолжительностью промывки 5 мин, расходом промывной воды 0,3 ... 0,5% расчетной производительности барабанной сетки. Промывная вода после БСБ подается в голову сооружений перед первичными отстойниками. Включение и отключение БСБ на промывку производится автоматически в зависимости от перепада уровней воды в барабане и камере, где установлена БСБ.

Таблица 11.2. Производительность типовых сетчатых фильтров, $м^3/с$

Тип фильтра	*Типоразмеры барабанов, м*					
	1,5х1,9	1,5х2,8	1,5х3,7	3х2,8	3х3,7	3х4,6
Микрофильтр МФБ для доочистки	0,1	0,16	0,21	0,4	0,53	0,66
Барабанная сетка БСБ для механической очистки	0,35	0,55	0,75	1,25	1,65	2,1
Барабанная сетка БСБ перед фильтром доочистки	0,42	0,62	0,84	1,5	2	2,5

Барабанные сетки размещают в отапливаемом и вентилируемом здании с температурой воздуха до 16° С. Здание барабанных сеток обычно совмещают со зданиями насосных установок, обеспечивая по возможности самотечное поступление сточных вод на фильтры.

Микрофильтры типа МФБ для доочистки биологически очищенных сточных вод применяют в тех случаях, когда по условиям сброса в водоем или использования в производстве допустима меньшая глубина доочистки по сравнению с достигаемой на песчаных фильтрах. Технические данные микрофильтров приведены в табл. 11.2 и гл. 5, схема — на рис. 5.12.

Скорость фильтрования составляет 15 ... 25 м/ч, размер ячеек фильтрующего полотна 40 ... 70 мкм. Содержание взвешенных веществ в исходной воде должно быть не более 40 мг/л. При этом достигается эффект очистки по взвешенным веществам 50 ... 60% и по $БПК_{полн}$ 25 ... 30%.

Очистка фильтровального полотна производится непрерывной промывкой водой, прошедшей микрофильтрацию. Расход промывной воды составляет 4% расчетной производительности микрофильтра с

Таблица 11.3. Число резервных фильтров

Барабанные фильтры	Число		Барабанные фильтры	Число	
	рабочих	резервных		рабочих	резервных
Микрофильтры	До 4	1	Барабанные сетки	До 6	1
	Свыше 4	2		Свыше 6	2

диаметром барабана 1,5 и 3% — для установок с диаметром 3 м. Регенерация загрязненной микросетки происходит при скорости истечения струи промывной воды 1 ... 1,5 м/с и при напоре воды в промывном устройстве 0,06 ... 0,12 МПа.

При проектировании станции доочистки сточных вод методом аэрации и фильтрации по ступенчатой схеме в качестве первой ступени доочистки могут быть применены микрофильтры. В этом случае на второй ступени после микрофильтров применяют аэрируемые фильтры. Число резервных барабанных сеток и микрофильтров принимают по табл. 11.3.

11.3. Фильтры с зернистой нагрузкой

Для доочистки рекомендуются фильтры следующих конструкций: однослойные, двухслойные, каркасно-засыпные, аэрируемые и с плавающей (пластмассовой) загрузкой. Конструкция однослойных

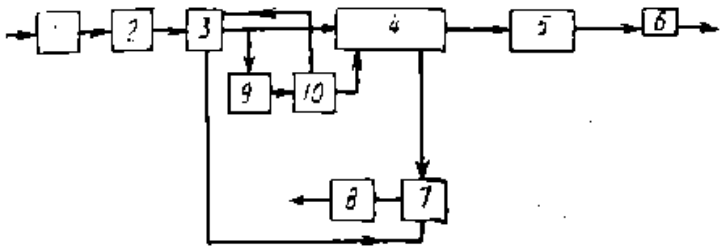


Рис. 11.1. Схема станции доочистки сточных вод с фильтрованием:

1 — приемные резервуары; 2 — насосная станция; 3 — барабанные сетки; 4 — фильтровальные сооружения; 5 — резервуар для контакта воды с хлором; 6 — быстротон-аэратор; 7 — резервуар для промывных вод; 8 — насосная станция; 9 — резервуар для промывки барабанных сеток и фильтров; 10 — насосная станция для подачи воды на промывку

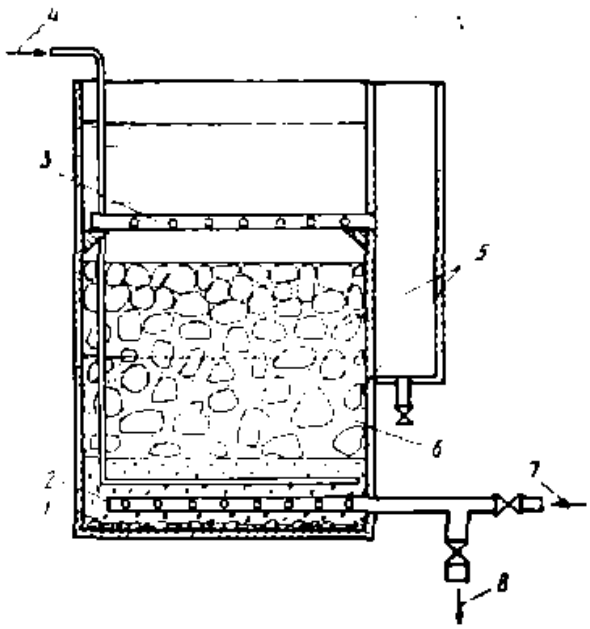


Рис. 11.2. Каркасно-засыпной фильтр:

1 — поддерживающие гравийные слои; 2 — распределительная система высокого сопротивления; 3 — трубчатая система для подачи исходной и отведения промывной воды; 4 — подача воздуха; 5 — гравийный зарядс; 6 — песчаная засыпка; 7 — подача промывной воды; 8 — отвод фильтрата

и двухслойных фильтров аналогична фильтрам, применяемым в водоснабжении (см. § 6). Основные технические параметры работы фильтров доочистки городских вод после биоочистки приведены в табл. 11.4. Расчет конструктивных элементов фильтров проводится согласно § 6.5. Введение коагулянтов (сернокислый алюминий) перед фильтрами позволяет дополнительно снизить содержание

Таблица 11.4. Технические параметры работы фильтра доочистки

Фильтр	Параметры фильтрующей загрузки				Высота слоя загрузки, м	Скорость фильтрования, м/ч, при режиме		Характер и интенсивность промывки, $л/с \cdot м^2$	Продолжительность этапа промывки, мин	Эффект очистки, %	
	Фильтрующий материал	гранулометрическая характеристика загрузки d_1, мм				нормальном	форсированном			по БПК	по взвешенным веществам
		минимальная	максимальная	эквивалентная							
Однослойный мелкозернистый с подачей воды сверху вниз	Кварцевый песок	1,2	2	1,5 ... 1,7	1,2 ... 1,5	6 ... 7	7 ... 8	Воздух (18 ... 20)	2	50 ... 60	70 ... 75
	Поддерживающие слои — гравий	2	5	—	0,15...0,2			Воздух (18 ... 20) и вода (3 ... 5)	10 ... 12		
		5	10	—	0,1 ... 0,15			Вода (7)	6 ... 8		
		10	20	—	0,1 ... 0,15						
		20	40	—	0,2 ... 0,25						
Однослойный крупнозернистый с подачей воды сверху вниз	Гранитный щебень	3	10	5,5	1,2	16	18	Воздух (16)	3	35 ... 40	45 ... 50
								Воздух (16) и вода (10)	4		
								Вода (15)	3		
Двухслойный с подачей воды сверху вниз	Антрацит или керамзит	1,2	2	—	0,4 ... 0,5	7 ...8	9 ... 10	Вода (14 ... 16)	10 ... 12	60 ... 70	70 ... 80
	Кварцевый песок	0,7	1,6	—	0,6 ... 0,7						
	Поддерживающие слои — гравий	2	5	—	0,15 ... 0,25						
		5	10	—	0,1 ...1,15						
		10	20	—	0,1 ... 0,15						
		20	40	—	0,2 ... 0,25						
Каркасно-засыпной (КЗФ)	Кварцевый песок	0,8	1	—	0,3 0,9	10	15	Воздух (14 ... 16) и вода (6 ... 8)	5 ... 7	70	70 ... 80

Продолжение табл. 11.4

Фильтр	Параметры фильтрующей загрузки				Высота слоя загрузки, м	Скорость фильтрования, м/ч, при режиме		Характер и интенсивность промывки, $л/с \cdot м^2$	Продолжительность этапа промывки, мин	Эффект очистки, %	
	фильтрующий материал	гранулометрическая характеристика загрузки d'_i, мм				нормальном	форсированном			по БПК	по взвешенным веществам
		минимальная	максимальная	эквивалентная							
Фильтр ОКСИПОР	Каркас — гравий	1 40	40 60	— —	1,8 0,5	3	5	Вода (14 ... 16)	3	80	90
	Недробленый керамзит	5	10	—	1,2			Вода (14 ... 16)	7		
	Поддерживающий слой — гравий	10	20	—	0,4						
Фильтр с плавающей (пластмассовой) загрузкой ФПЗ-4	Гранулы пенополистирола	8 4 2 1 0,5	12 6 3 2 1	— — — — —	0,1 0,2 0,2 0,3 0,4	10 10 8	12 12 10	Вода (10) Вода (10) Вода (10)	4 ... 6 4...6 4...6	60...80 60...70 80	70...90 70...90 80...90
Гидроавтоматический фильтр с плавающей загрузкой АФПЗ	Гравий Гранулы пенополистирола	20 4 0,8	40 10 1,5	— — 1,3	0,25...0,3 0,3 0,9	15	20	Вода (15)	2	60...75	80...95

органических, взвешенных веществ и общего фосфора. Схема станции доочистки сточных вод с фильтрованием дана на рис. 11.1. Максимальная концентрация взвешенных веществ в сточной воде на входе в фильтр 20 ... 30 мг/л. Все фильтры располагают в отапливаемых зданиях.

Каркасно-засыпной фильтр (КЗФ) является разновидностью многослойных фильтров. Схема дана на рис. 11.2. Потери напора при фильтрации в КЗФ составляют 2 ... 3 м. Достоинством каркасно-засыпного фильтра является повышенная грязеемкость загрузки (продолжительность фильтроцикла 20 ч), хорошее качество фильтрата при высоких скоростях фильтрации и дешевые фильтрующие материалы. КЗФ могут использоваться также в качестве денитрификаторов для удаления азота из сточных вод.

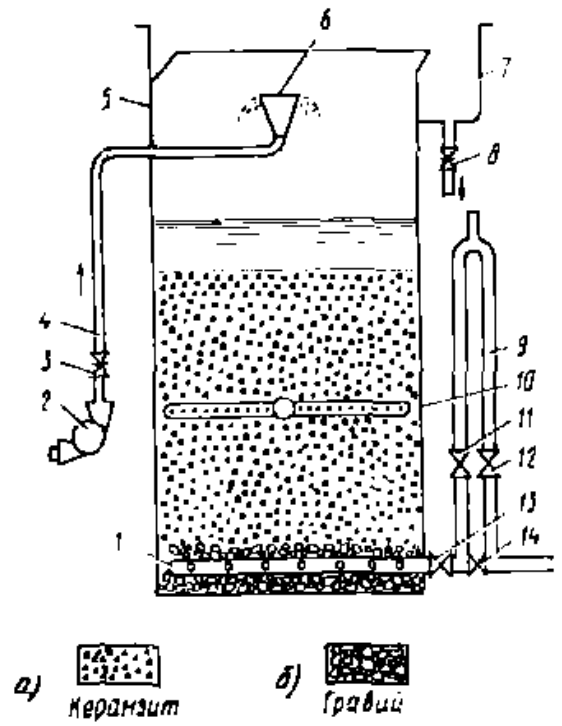


Рис. 11.3. Фильтр ОКСИПОР:
а — измельченный керамзит; б — гравий; 1 — трубопровод отвода фильтрованной и подачи промывной воды; 2 — подающий шлюз; 3, 8, 11 ... 14 — запорные вентили; 4 — трубопровод для подачи воды на фильтр; 5 — корпус фильтра; 6 — распределительная горелка; 7 — карман для отвода промывной воды; 9 — сифон; 10 — распределительная система для подачи воздуха

Аэрируемые фильтры ОКСИПОР рекомендуются к использованию на станциях физико-химической очистки сточных вод в качестве сооружений 2-й ступени. Они обеспечивают задержание взвешенных веществ и биологическое окисление растворенных органических загрязнений. Схема фильтра приведена на рис. 11.3. Расход воздуха на аэрацию 3 $м^3/м^3$ сточных вод в 1 ч, продолжительность фильтроцикла 24 ч.

Фильтры с плавающей загрузкой ФПЗ-3 и ФПЗ-4 обеспечивают такой же эффект очистки, как и фильтры с двухслойной загрузкой. Как фильтрация, так и промывка загрузки проводятся в нисходящем потоке воды. Потери напора при фильтровании составляют 1,5 м. Максимальный уровень воды ($УВ_{max}$) к концу фильтроцикла составляет 1,5 ... 2,0 м выше поверхности загрузки, а минимальный ($УВ_{min}$) в конце промывки 0,5 м. Продолжительность фильтроцикла 12 ... 24 ч.

Гидроавтоматический фильтр с плавающей загрузкой (АФПЗ) представлен на рис. 11.4. Фильтр включается в работу в момент наполнения корпуса исходной водой до отметки $Z_{ср}$. После удаления воздуха из сифона фильтрата и при условии погружения воздушной трубки под уровень воды в сифоне опорожнения сифон фильтрата начинает работать как сифон. Уровень воды в фильтре периодически автоматически падает, загрузка оголяется и аэрируется, а затем фильтр вновь заполняется водой и т. д. С накоплением загрязнений в фильтре уровень воды поднимается до отметки Z_{max}, и фильтр выводится на промывку. Продолжительность фильтроцикла составляет 24 ... 72 ч.

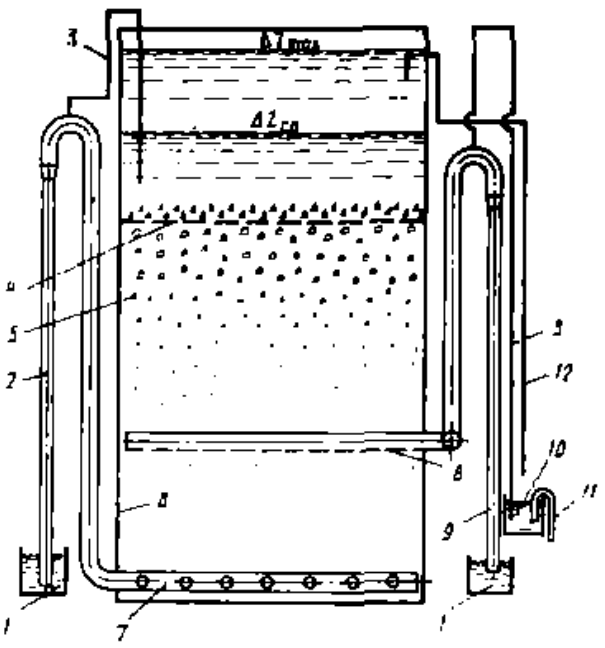


Рис. 11.4. Гидроавтоматический фильтр с плавающей загрузкой:
1 — бак-гидрозатвор; 2 — сифон промывной воды; 3 — воздушная труба; 4 — удерживающая решетка; 5 — плавающая загрузка; 6 — корпус; 7 — нижний дренаж; 8 — средний дренаж; 9 — сифон фильтрата; 10 — зарядное устройство; 11 — сифон опорожнения; 12 — сифон наполнения

Достоинством фильтров АФПЗ является простота конструкций, отсутствие промывных насосов и запорно-регулирующей арматуры при высоком эффекте очистки.

При биологическом обрастании фильтров с зернистой загрузкой, их необходимо периодически (примерно один-три раза в месяц) промывать хлорной водой. При этом расход хлора должен составлять 150 ... 300 мг/л, а время воздействия — 24 ч.

11.4. Гиперфильтрационные и электродиализаторные установки

Ультрафильтрация — мембранный процесс разделения растворов, осмотическое давление которых мало. Метод используется при отделении сравнительно высокомолекулярных веществ, взвешенных

частиц, коллоидов и проводится при давлении 0,2 ... 1 МПа. Характеристика ультрафильтрационных ацетатных мембран (УАМ) приведена в табл. 11.5. Срок службы мембран 1 ... 2 года.

Наибольшее применение нашли аппараты типа «фильтр-пресс» с плоскокамерными фильтрующими элементами и аппараты с мембранами из полых волокон малого диаметра (45 ... 200)10^{-10} м. Схемы работы аппаратов могут быть одно- и многоступенчатыми (рис. 11.5). В двухступенчатой установке на 1-й ступени осуществляется процесс концентрирования, а на 2-й — доочистка фильтрата с целью его повторного использования. В СНГ выпускаются ультрафильтрационные установки на полых волокнах УПВ-6, производительностью по фильтрату 1200 л/ч, максимальное рабочее давление 0,15 МПа, площадь фильтрации 6 $м^2$.

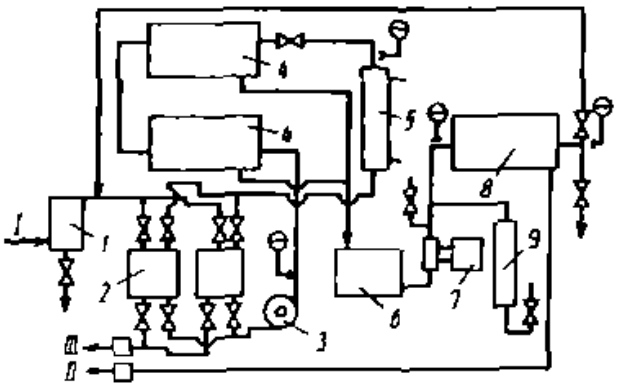


Рис. 11.5. Схема установки циркуляционного типа для концентрирования сточных вод:
1 — фильтр; 2 — рабочая емкость; 3 — насос I ступени; 4 — аппараты I ступени; 5 — теплообменник; 6 — промежуточная емкость; 7 — насос II ступени; 8 — аппараты II ступени; 9 — гидроаккумулятор; I — исходный раствор; II — фильтрат; III — концентрат

Из сточных вод, подвергаемых ультра- и гиперфильтрационной очистке, должны быть удалены взвешенные вещества. Кроме того, гиперфильтрацию не рекомендуется применять для очистки сточных вод, содержащих сульфат или карбонат кальция, которые в процессе концентрирования могут образовать пересыщенный раствор. Выпадение $CaCO_3$ может быть предотвращено путем подкисления обрабатываемой воды до pH = 5,5 ... 6 или введения в нее полифосфатов 20 мг/л.

Гиперфильтрация (обратный осмос) — процесс разделения растворов фильтрованием через мембраны, поры которых диаметром около 10^{-9} м пропускают молекулы воды, но непроницаемы для гидратированных ионов солей или молекул недиссоциированных соединений. Давление гиперфильтрационных аппаратов при концентрации солей 2 ... 5 г/л составляет 0,1 ... 1 МПа и при концентрации солей 20 ... 30 г/л — 5 ... 10 МПа. Толщина мембран 0,1 ... 0,2 мкм. Их характеристика дана в табл. 11.5.

На рис. 11.6 приведена схема аппарата типа «фильтр-пресс». Он состоит из плотно сжатого между двумя металлическими фланцами

Таблица 11.3. Характеристики мембран

Марка мембраны	Производительность, л/м² · сут	Селективность, %	Средний диаметр пор, 10^{-20} м	Пористость, %
МГА-80	600	80	—	75±3
МГА-90	350	90	—	75±3
МГА-95	250	95	—	75±3
МГА-100	150	97,5	—	75±3
УАМ-50М	29...58	—	50	75±3
УАМ-100М	58...230	—	75±25	75±3
УАМ-150М	230...690	—	125±25	75±3
УАМ-200М	504...1370	—	175±25	75±3
УАМ-300М	920...2450	—	250±25	80±3
УАМ-500М	1730	—	300	80±3

Примечание. Буква М в марке ультрафильтрационных мембран указывает на то, что мембраны выпускаются в мокром виде.

набора плоских фильтрующих элементов, чередующихся с тонкими паронитовыми прокладками. Фильтрующий элемент представляет собой опорную винипластовую пластину со щелью для отвода фильтрата, покрытую с обеих сторон дренажной сеткой и мембранами. В СНГ выпускаются установки УГ-1 и УГ-10 с аппаратами типа «фильтр-пресс» для опреснения солоноватой воды производительностью по фильтрату соответственно 1 и 10 м³/сут.

Электродиализ — процесс сепарации ионов солей, осуществляемый в многокамерном мембранном аппарате (электродиализаторе) под действием постоянного электрического тока, направленного перпендикулярно плоскости мембран. Мембраны изготовляют в виде гибких листов прямоугольной формы и в виде рулонов из термопластичного полимерного связующего (полиэтилена,

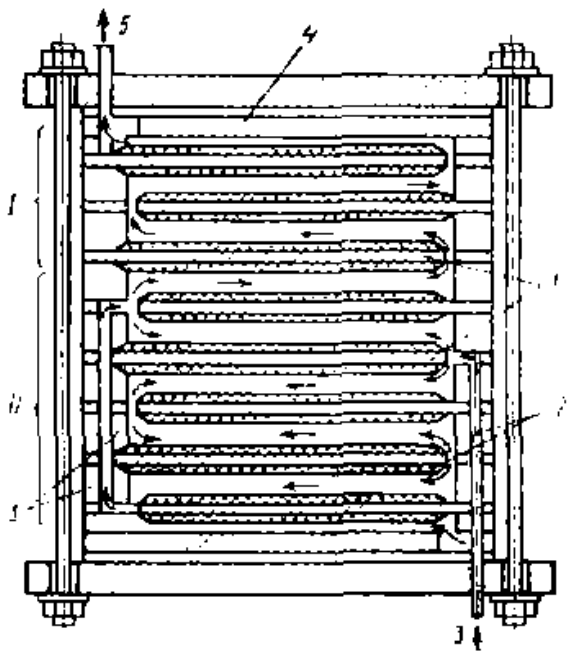


Рис. 11.6. Аппарат типа «фильтр-пресс»:
1 — опорные пластины; *2* — мембраны; *3* — подача раствора; *4* — паронитовые прокладки; *5* — выход концентрата; *I* — блок элементов с последовательным движением транзитного потока по камерам; *II* — то же, с параллельным движением

полипропилена и др.) и порошка ионообменных смол (КУ-2-8, ЭДЭ-10П и др.).

Отечественные электродиализные аппараты подразделяют на прокладочные и лабиринтные. Характеристика электродиализных установок приведена в табл. 11.6. Срок службы мембран составляет 3 ... 5 лет. Оптимальная область применения электродиализаторов — при концентрации солей в сточной воде 3 ... 8 г/л.

Направляемая на установку вода должна при нейтральном pH отвечать следующим требованиям: содержание взвешенных веществ ≤15 мг/л, жесткость общая ≤40 мг-экв/л, железо общее ≤0,05 мг/л, марганец ≤0,05 мг/л. В опреснительных электродиализных установках применяют различные схемы. При суточном расходе сточных вод более 300 ... 500 $м^3$ считается целесообразным применение технологических схем прямоточного типа.

Полученные в результате гиперфильтрации или электродиализа концентрированные остаточные растворы направляются на регенерацию для извлечения и использования ценных примесей.

11.5. Установки пенной флотации

Пенная флотация используется для доочистки биологически очищенных городских сточных вод от ПАВ, взвешенных и органических веществ. Одновременно сточная вода насыщается растворенным кислородом. При этом содержание ПАВ уменьшается с 2 ... 8 мг/л в исходной воде до 0,5 ... 1,5 мг/л очищенной воде, снижение взвешенных веществ составляет 45 ... 55%, БПК5 — 50 ... 60%, ХПК — 55 ... 65%. Схема барботажной установки пенной флотации приведена на рис. 11.7. Для барботажа применяют мелкопористые аэраторы. Основные расчетные параметры сооружений пенной флотации приведены в табл. 11.7. Подбор вентилятора производят по часовому расходу воздуха, поступающего на установку через аэраторы.

Количество жидкости (пенного продукта) после гашения пены составляет 0,3 ... 0,5% объема обрабатываемой воды. Она обрабатывается совместно с осадком сточных вод на вакуум-фильтрах с последующей термической сушкой. Кроме того, пенный продукт может быть подвергнут сжиганию или возвращен в аэротенки (при наличии биологически «мягких» ПАВ).

Под сооружения пенной флотации могут быть переоборудованы секции аэротенков или контактные резервуары.

Таблица 11.6. **Технологические характеристики электродиализаторов**

Показатели	Прокладочные ЭДА			Лабораторные ЭДА		
	ЭДУ-50	ЭХО-М5000х200	«Родник-3»	Э-400М	ЭДУ-2 (ЭДУ-5)	ЭДУ-1000 (ЭДУ-5000) АЭ-25
Производительность (при $C_{нач}$ = =3 г/л), м³/ч	15...20	15...20	2...4	1	1,0...1,5	20...25
Марка мембран	МКК-10 и МАК-10	МК-40 и МА-40	МК-40 и МА-40	МК-40 и МА-40	МКК-10 и МАК-10	МКК-10 и МАК-10
Размер мембраны, мм	1000х500	1450х480 (1500х500)	450х480	400х400	500х500	1000х500
Число пар мембран (число ячеек)	300	200	200	200	35	250
Съем соли на аппарате за один проход, %	25...30	40	70	50	30...40	40
Давление воды на входе в аппарат, МПа	0,15...0,25	0,4	0,3	0,25	0,2...0,3	0,4
Потеря давления в аппарате при рабочей скорости, МПа	0,05...0,12	0,15	0,25	0,2	0,08...0,1	0,25
Материал электродов	Платинированный титан	Платинированный титан или электродный графит		Платинированный титан		
Напряжение на аппарате, В	360...400	500	150	400	60(75)	400

Таблица 11.7. **Расчетные параметры сооружений пенной флотации**

Параметры	Величина
Удельный расход воздуха на 1 $м^3$ воды, $м^3/м^3$	3,5...4
Интенсивность барботажа, $м^3/(м^2 \cdot ч)$	35
Продолжительность барботажа, мин	30
Рабочая высота слоя воды, м	3...5
Расход воздуха:	
на одну фильтросную пластину, л/мин	100...120
на 1 $м^2$, $м^3/ч$	10...20
Плотность пены, $кг/м^3$	2,1...2,6
Состав пенного продукта, г/л:	
взвешенные вещества	1,8...4
$БПК_5$	2,1...5
ХПК	18...25
ПАВ	0,3...3

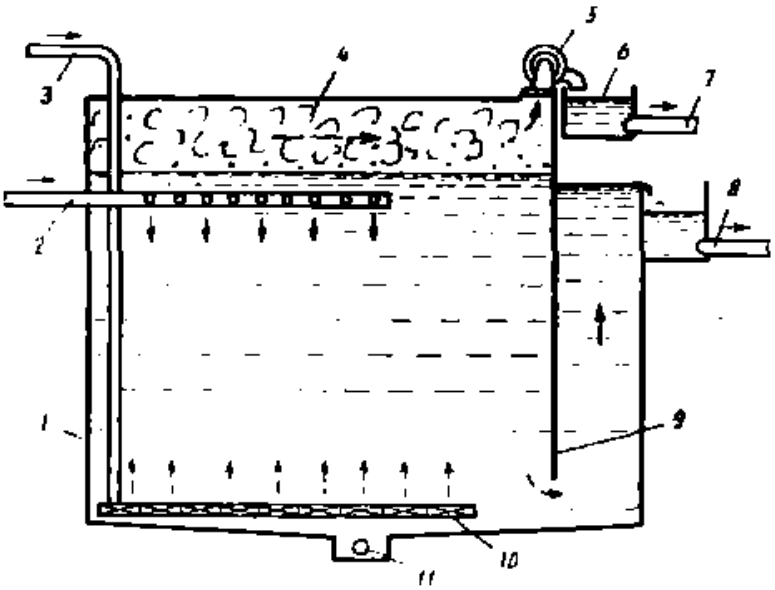


Рис. 11.7. Барботажная установка пенной флотации:
1 — флотационный резервуар; 2 — подача исходной воды; 3 — подача сжатого воздуха; 4 — перекрытие; 5 — центробежный вентилятор; 6 — пеносборник; 7 — отвод пенного продукта; 8 — отвод очищенной воды; 9 — перегородка; 10 — аэраторы; 11 — опорожнение флотационного резервуара

11.6. Коагуляционные и сорбционные установки

Применение минеральных коагулянтов обеспечивает доочистку биологически очищенных сточных вод от грубодисперсных, коллоидных загрязнений, растворенных высокомолекулярных органических веществ (ПАВ, детергенты и др.), фосфатов, фторидов. При добавлении к минеральным коагулянтам флокулянтов —

органических полимеров в малых дозах (до 1,5 мг/л) — повышается эффективность коагуляции вследствие укрупнения хлопьев взвеси. Использование полиэлектролитов в концентрации 10 ... 20 мг/л обеспечивает ту же доочистку, что и минеральные коагулянты, кроме извлечения фосфатов и фторидов. Дозы реагентов и эффект доочистки сточных вод приведены в табл. 11.8.

Коагуляционные установки состоят из смесителей и сооружений для осветления воды (отстойники, фильтры, флотаторы или осветлители). При необходимости создания хлопьев перед сооружениями осветления предусматривают камеру хлопьеобразования. Продолжительность пребывания воды в смесителе 0,5 ... 2,0 мин, в камере хлопьеобразования — 20 ... 30 мин.

Сорбционные установки применяют при сбросе сточных вод в водоем на особо охраняемых участках или при повторном использовании сточных вод. Основным сорбентом является активный уголь: гранулированный (размеры частиц более 1 мм), порошковый (размеры частиц менее 0,25 мм). Характеристика активных углей дана в табл. 11.9.

Таблица 11.9. Характеристика активных углей

Марка угля	Основной (более 90%) размер зерен, мм	Общий удельный объем пор, $см^3/г$	Удельная площадь поверхности мезопор, $м^2/г$	Истинная плотность, $г/см^3$	Полная емкость, $см^3/г$
АГ-2	1...3,5	0,6	33	2	0,6
БАУ	1...3,6	1,5...2,1	57	1,8	1,5
АР-3	2...5	0,6...0,7	48	1,95	0,7
КАД (иодатный)	2...5	1...1,3	110	2,1	1,0
КАД (молотый)	0,04	0,12	64	—	—
СКТ	1,5...2,7	0,9...1	108	—	0,98

В процессе адсорбционной доочистки активный уголь удаляет из воды биохимически неокисленные органические вещества, микроколичества ионов тяжелых металлов, радиоактивных изотопов, хлорида ртути, солей серебра, хлорида золота, остаточный хлор, аммонийный азот, бактериальные и другие загрязнения.

Основным критерием адсорбционных свойств адсорбента является изотерма адсорбции, определяющая зависимость активности адсорбента от концентрации адсорбата в условиях равновесия при постоянной температуре.

Эффективность сорбции увеличивается с повышением концентрации сорбируемых веществ в исходной воде и с уменьшением температуры воды.

Применяют адсорберы двух типов — с движущейся и неподвижной загрузкой. Типичные схемы работы адсорберов приведены

Таблица 11.8. Дозы реагентов и эффект доочистки сточных вод

Реагент	Доза реагента, мг/л	Параметры качества воды		pH	Сооружение	Примечания
		показатели	эффект очистки, %			
$Al_2(SO_4)_3$	1...2 Al^{3+}	Взвешенные вещества	98...100	6,7...7,5	Фильтр (смеситель и камера хлопьеобразования отсутствуют)	Необходимо добавлять 0,5...1,0 мг/л флокулянта
$Fe_2(SO_4)_3$ или $FeCl_3$	4...7	ХПК	24...40	6,7... 7,5	То же	То же
		БПК	20...40			
		PO_4^{3-}	25...50			
		Микроорганизмы	25...90			
		ПАВ	35...40			
		Цветность	50			
$Al_2(SO_4)_3$	30...35 Al^{3+}	Взвешенные вещества	60...80	6,2...6,5	Отстойник или флотатор, либо осветлитель	
$Fe_2(SO_4)_3$	70...85 Fe^{3+}	ХПК	25...40			
		БПК	25...40			
		PO_4^{3+}	80...96			
		Микроорганизмы	—			
		ПАВ	35...40			

Продолжение табл. 11.8

$Ca(OH)_2$	200...300 CaO	ХПК	25...30	9...9,5	То же	Добавляется $FeCl_3$ (20 мг/л) и флокулянт (0,5...1,0 мг/л)
		PO_4^{3-}	70...90			
		БПК	25...30			
		Цветность	50...60			
		Взвешенные вещества	70...80			
	400...500 CaO	ХПК	30...40	11...11,5	«	—
		PO_4^{3-}	70...90			
		БПК	30			
		Цветность	50...60			
		Микроорганизмы	30...60			
Катионные органические полимеры	10...20	ХПК	25...40	6,5...7,5	Фильтр (смеситель и камера хлопьеобразования отсутствуют)	
		БПК	25...40			
		Микроорганизмы	25...30			

Примечания: 1. При использовании 30 ... 35 мг/л Al^{3+} и 70 ... 85 мг/л Fe^{3+} обеспечивается указанный максимальный эффект очистки; для получения эффекта очистки, например, в 1,5 ... 2 раза меньшего, доза коагулянта Al^{3+} или Fe^{3+} перед отстойниками может быть снижена до 15 мг/л. 2. Высокая степень извлечения фосфатов обеспечивается при соотношении Al : P=3 ... 4 или Fe : P=2,4 ... 2,7. 3. Применение $FeSO_4$ при pH=12 обеспечивает тот же эффект очистки, что и при pH=6 ... 6,5.

на рис. 11.8. Адсорберы с движущейся загрузкой применяют на станциях небольшой производительности при малом содержании взвешенных веществ в исходной воде. На крупных станциях применяют открытые угольные фильтры с высотой загрузки 1 ... 2 м и крупностью зерен 0,8 ... 5 м. Скорость потока воды 4 ... 10 м/ч. Потери напора составляют 40 ... 60% высоты загрузки. Ориентировочно принимается, что 1 кг угля снимает около 0,5 кг загрязнений, оцениваемых по ХПК.

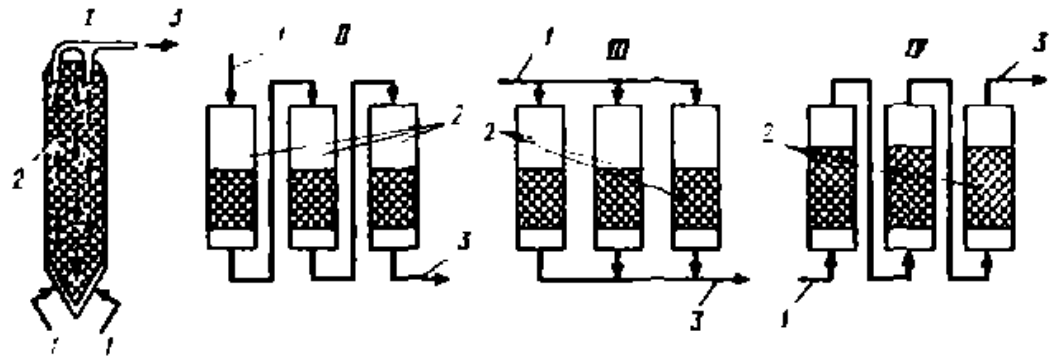


Рис. 11.8. Типичные схемы работы адсорберов:
I — адсорбер с движущейся загрузкой; II — последовательно работающие адсорберы с неподвижной загрузкой и восходящим потоком воды; III — параллельно работающие адсорберы с неподвижной загрузкой и восходящим потоком воды; IV — последовательно работающие адсорберы с неподвижной загрузкой и восходящим потоком воды («расширенный слой» угля); 1 — подача воды; 2 — угольная загрузка; 3 — выпуск очищенной воды

Сорбционная очистка может быть регенеративной (извлеченные вещества утилизируются) или деструктивной (извлеченные вещества уничтожаются). Для регенерации активных углей используют термические, химические или биологические методы.

Легколетучие органические вещества удаляют высокотемпературной десорбцией воздухом (120 ... 140°С), паром (200 ... 300°С) или дымовыми газами (300 ... 500°С).

При химической регенерации органические соединения удаляют промывкой растворами кислот или щелочей.

Биологическая регенерация состоит в биохимическом окислении органических веществ в течение 10 ... 20 ч.

В биосорберах сочетаются биологический и сорбционный методы очистки, происходящие во взвешенном слое активированного угля.Схема установки дана на рис. 11.9. Резервуар заполнен двумя слоями сорбирующей загрузки: нижний слой псевдоожиженный, верхний — уплотненный. Движение воды — снизу вверх. Скорость движения воды в нижнем слое 9 м/ч, в верхнем 3 ... 5 м/ч. По данным ВНИИ Водгео (Швецов В. Н.) окислительная мощность биосорбера по БПК в 1,6 ... 1,8 раза и по ХПК 4 ... 6 раз выше окислительной мощности аэротенка. В биосорбере активированный уголь не требует отдельной регенерации.

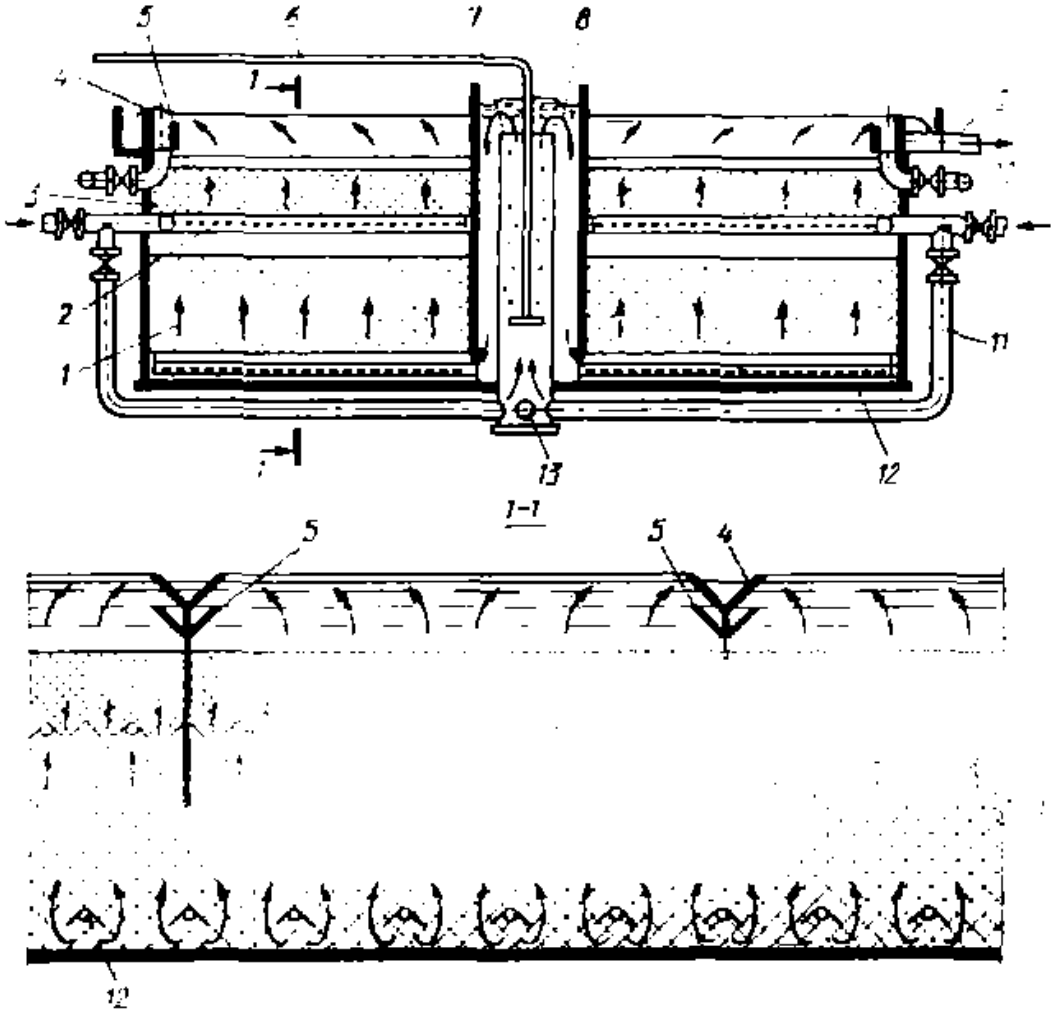


Рис. 11.9. Биосорбер конструкции ВНИИ Водгео:

1 — слой взвешенной загрузки; 2 — дренажная система; 3 — слой плотной загрузки; 4 — водосбор очищенной воды; 5 — водосбор промывной воды; 6 — воздухопровод; 7 — труба эрлифта; 8 — камера успокоения; 9 — отвод очищенной воды; 10 — то же, промывной воды; 11 — циркуляционный трубопровод; 12 — воздухораспределительная система; 13 — труба для подачи сточной воды

11.7. Ионообменные установки

Ионообменная сорбция — процесс обмена между ионами, находящимися в сточной воде и ионами, присутствующими на поверхности твердой фазы — ионита. Метод применяют для глубокой очистки сточных вод от минеральных и органических ионизированных соединений и обессоливания с целью повторного использования очищенной воды. Сточные воды, подаваемые на установку, не должны содержать: солей — свыше 3000 мг/л, взвешенных веществ — свыше 8 мг/л, ХПК не должна превышать 8 мг/л.

В качестве ионитов применяют неорганические природные и искусственные *алюмосиликаты, гидроокиси и соли многовалентных* металлов, также иониты, полученные химической обработкой угля,

целлюлозы и лигнина. Основными ионитами являются синтетические ионообменные смолы.

Различают следующие виды ионитов: сильнокислотные катиониты, слабокислотные катиониты, иониты смешанного типа.

В табл. 11.10 приведена характеристика некоторых ионитов.

Таблица 11.10. Характеристика ионитов

Иониты	Размер зерен, мм	Обменная емкость, г-экв/м^3		
		при H-катионировании	при Na-катионировании	по SO_4^{2-}
Катиониты				
Сульфоуголь СМ-1	0,3...0,8	250	400	—
Сульфоуголь СК-1	0,5...1,1	200	350	—
Катионит КУ-1	0,3...1,5	300	300	
Катионит КУ-2	0,3...1	800	800	—
Аниониты				
АН-2ФН	0,3...1,6	—	—	700
АН-18-8	0,3...1,6	—	—	1000
АВ-17-8	0,2...0,8	—	—	800

Процесс ионного обмена, включающий чередующиеся стадии сорбции и регенерации ионитов, осуществляется в аппаратах (фильтрах) периодического или непрерывного действия. В напорном фильтре периодического действия высота слоя ионита составляет 1,5 ... 2,5 м. Скорость фильтрации 8 ... 20 м/ч. Регенерация катионитов осуществляется промывкой кислотой (H-катионит) или раствором поваренной соли (Na-катионит).

Для удаления аммонийного азота целесообразно применять природный ионообменный материал — клиноптилолит, который относится к классу цеолитов. Перед очисткой на клиноптилолитовых фильтрах из сточных вод удаляют взвешенные вещества. Обменная емкость загрузки клиноптилолита составляет 7 г NH^{4+}/кг или 300 г-экв NH_4^+/м^3. Высота загрузки не менее 2 м, скорость фильтрации 5 ... 7 м/ч. Допустимая в исходной воде концентрация аммонийного азота не должна превышать 50 мг/л. Эффект удаления его на клиноптилолитовых фильтрах составляет 90 ... 97%. Для регенерации этих фильтров используют 5 ... 10%-ный раствор хлористого натрия, удельный расход соли 880 г/г-экв обменной емкости (15-кратный избыток). Продолжительность регенерации 1,0 ... 1,5 ч, после чего загрузка отмывается водой в течение 1 ... 2 ч, удельный расход воды 4 ... 5 м^3/м^3 загрузки.

Отработавший регенерационный раствор с целью повторного его использования восстанавливается отдувкой аммиака воздухом в щелочной среде. Расход щелочи для доведения pH до 10,6 ... 10,7

составляет 8 г/г-экв обменной емкости, расход воздуха для отдувки — 4000 м^3/м^3 раствора. Выделяющийся из раствора аммиак следует поглощать раствором серной кислоты, в результате чего образуется сульфат аммония, который может быть использован в качестве

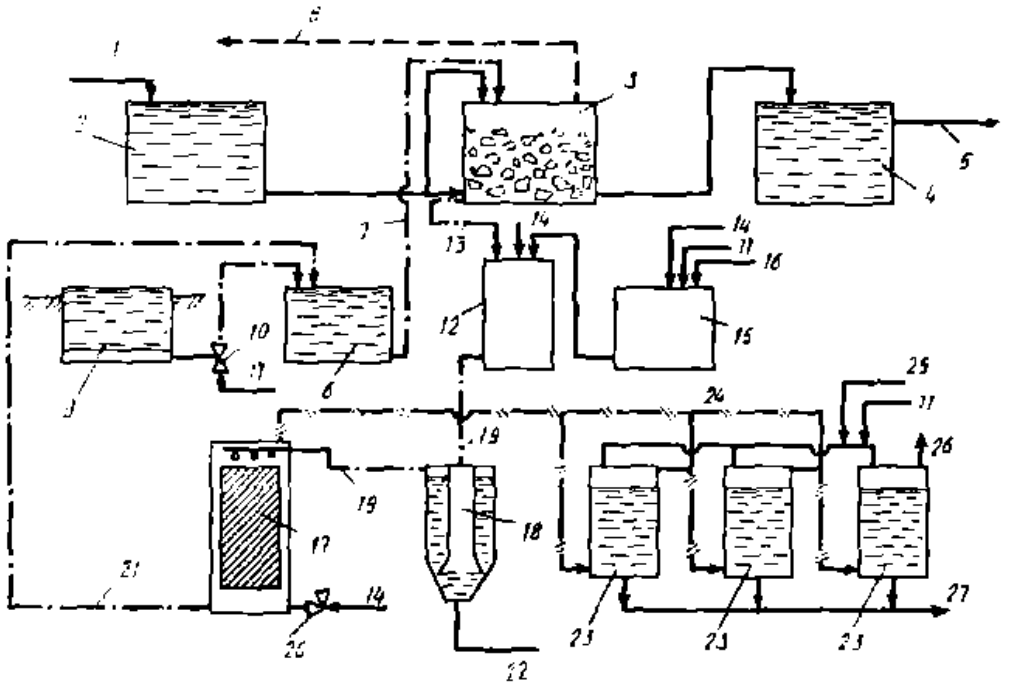


Рис. 11.10. Схема очистки сточных вод от аммонийного азота на клиноптилолитовых фильтрах:

1 — подача воды после песчаных фильтров; *2* — резервуар с водой после песчаных фильтров; *3* — фильтр, загруженный клиноптилолитом; *4* — контактный резервуар; *5* — отвод очищенной воды; *6* — резервуар 10%-ного раствора хлористого натрия; *7* — подача хлористого натрия на регенерацию; *8* — сброс промывной воды; *9* — бак для мокрого хранения хлористого натрия; *10* — эжектор; *11* — подача водопроводной воды; *12* — смеситель; *13* — подача отработавшего регенерационного раствора; *14* — подача воздуха; *15* — резервуар 10%-ного раствора едкого натра; *16* — подача едкого натра; *17* — вентиляторная градирня для отдувки; *18* — отстойник; *19* — подача раствора в градирню; *20* — вентилятор; *21* — подача восстановленного раствора хлористого натра; *22* — отвод осадка на обезвоживание; *23* — абсорберы; *24* — подача аммиачно-воздушной смеси; *25* — подача серной кислоты; *26* — отвод газа; *27* — отвод сернокислого аммония

удобрения. На рис. 11.10 приведена схема доочистки сточных вод от аммонийного азота.

11.8. Установки окисления

В качестве окислителей используют озон, хлор, диоксид хлора, перманганат калия и др. Озонирование при доочистке сточных вод применяют для доокисления органических веществ, дезодорации, обесцвечивания и обеззараживания.

Описание озонаторов для производства озоно-воздушной смеси приводится в § 7.3, там же даны параметры процесса озонирования.

При использовании хлора при окислении для снижения ХПК на 1 мг/л теоретически требуется 4,43 мг/л хлора. Хлорирование увеличивает на 20% содержание взвешенных частиц в воде за счет перехода некоторых растворимых соединений под действием хлора в суспензированное состояние. $БПК_5$ снижается в среднем на 35%.

11.9. Установки обеззараживания сточных вод

Обеззараживание производится хлором, гипохлоритом натрия, получаемым на месте в электролизерах, или прямым электролизом сточных вод. Производственные сточные воды иногда обеззараживают озоном.

Расчетная доза активного хлора принимается в зависимости от предшествующей очистки сточных вод: после механической очистки — 10 мг/л; после механической очистки при эффекте отстаивания свыше 70% и неполной биологической очистки — 5 мг/л; после полной биологической, физико-химической и глубокой очистки — 3 мг/л.

При этом в обеззараженной воде после биологической очистки содержание кишечных палочек должно быть менее 1000 в 1 л, а уровень остаточного хлора не менее 1,5 мг/л при времени контакта 30 мин.

Комплекс сооружений для обеззараживания состоит из установки для хлорирования, склада хлора, смесителя и контактного резервуара. Хлорное хозяйство должно обеспечивать возможность увеличения расчетной дозы хлора в 1,5 раза без изменения вместимости складов для реагентов.

Установки для хлорирования аналогичны установкам, применяемым для обеззараживания природных вод (см. § 7.2). Здания хлораторных с хлораторами типа ЛОНИИ — 100 К, объединенные со складом хлора, имеют в зависимости от производительности по хлору следующие размеры (табл. 11.11).

Таблица 11.11. Размеры хлораторных

Расход хлора, кг/ч	Размеры здания, м	Расход хлора, кг/ч	Размеры здания, м
2	6x12	20	12x27
5	12x12	25...30	12x30
12,5	12x18	50	12x36

Смесители подразделяют на три типа: ершовые (при расходе сточных вод до 1400 $м^3$/сут), типа лотка Паршаля (рис. 11.11 и табл. 11.12) и с пневматическим или механическим перемешиванием

Таблица 11.12. **Размеры смесителей типа лотка Паршала, м**

Пропускная способность, тыс. $м^3$/сут	A	B	C	D	E	H_A	H'	H	L	f	l	l''	b
1,4...4,2	1,35	0,3	0,55	0,78	1,32	0,29	0,26	0,32	5,85	1,7	4,7	7,17	0,23
4,2...7	1,35	0,45	0,55	0,78	1,32	0,40	0,38	0,42	5,85	4	7	9,47	0,23
7...32	1,475	0,6	0,8	1,08	1,45	0,65	0,6	0,66	6,1	7,4	11	13,63	0,5
32...80	1,73	0,9	1,3	1,68	1,7	0,61	0,59	0,63	6,6	7,4	11	13,97	1
80...160	1,73	1,2	1,3	1,68	1,7	1	0,8	1	6,6	8,9	12,5	14,97	1
160...280	1,995	1,5	1,8	2,28	1,95	1	0,85	1,15	7,1	10,2	14	15,3	1,5

Примечание. Размеры H, H', H_A, l, l' определены для максимального расхода в указанных диапазонах пропускной способности.

в виде емкости (время пребывания при максимальном расходе 10 ... 15 мин).

Контактные резервуары проектируют в виде не менее двух отстойников без скребков на время пребывания сточных вод 30 мин. При этом учитывается и время протока сточных вод в выпуске. Размеры типовых контактных резервуаров приведены в табл. 11.13,

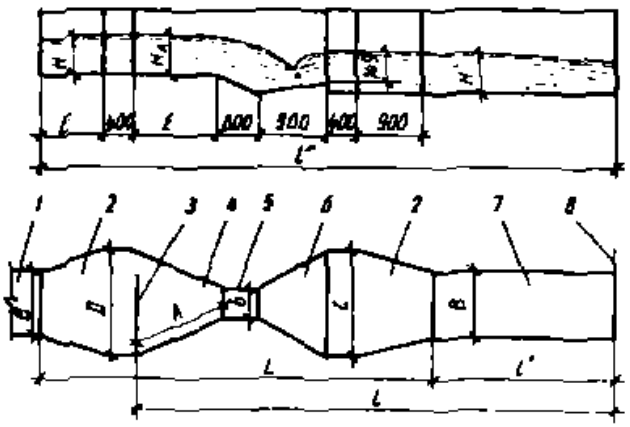


Рис. 11.11. Смеситель типа «лоток Паршалл»:
1 — подводящий лоток; 2 — перебор; 3 — трубопровод хлорной воды; 4 — подводящий раструб; 5 — горловина; 6 — отводящий раструб; 7 — отводящий лоток; 8 — отвор полного спуска

Таблица 11.13. Техническая характеристика контактных резервуаров

Пропускная способность, тыс. м³/сут	Расчетный объем, м³	Число отделений	Размеры отделения, м		
			ширина	длина	глубина
35	972	3	6	18	3,2
50	1350	3	6	24	3,2
50	1382	4	6	18	3,2
70	1729	3	6	30	3,2
70	1843	4	6	24	3,2
100	2534	4	6	33	3,2
140	3200	3	9	36	3,3
200	4200	3	9	48	3,3

а схема — на рис. 11.12. Интенсивность аэрации для барботажа во время удаления осадка 0,5 м³/(м²·ч). Влажность удаляемого осадка 98%. Количество осадка после механической очистки — 1,5 л/м³ сточной воды, после биологической очистки — 0,5 л/м³. Осадок удаляется раз в 5 ... 7 сут перекачкой его в начало очистных сооружений.

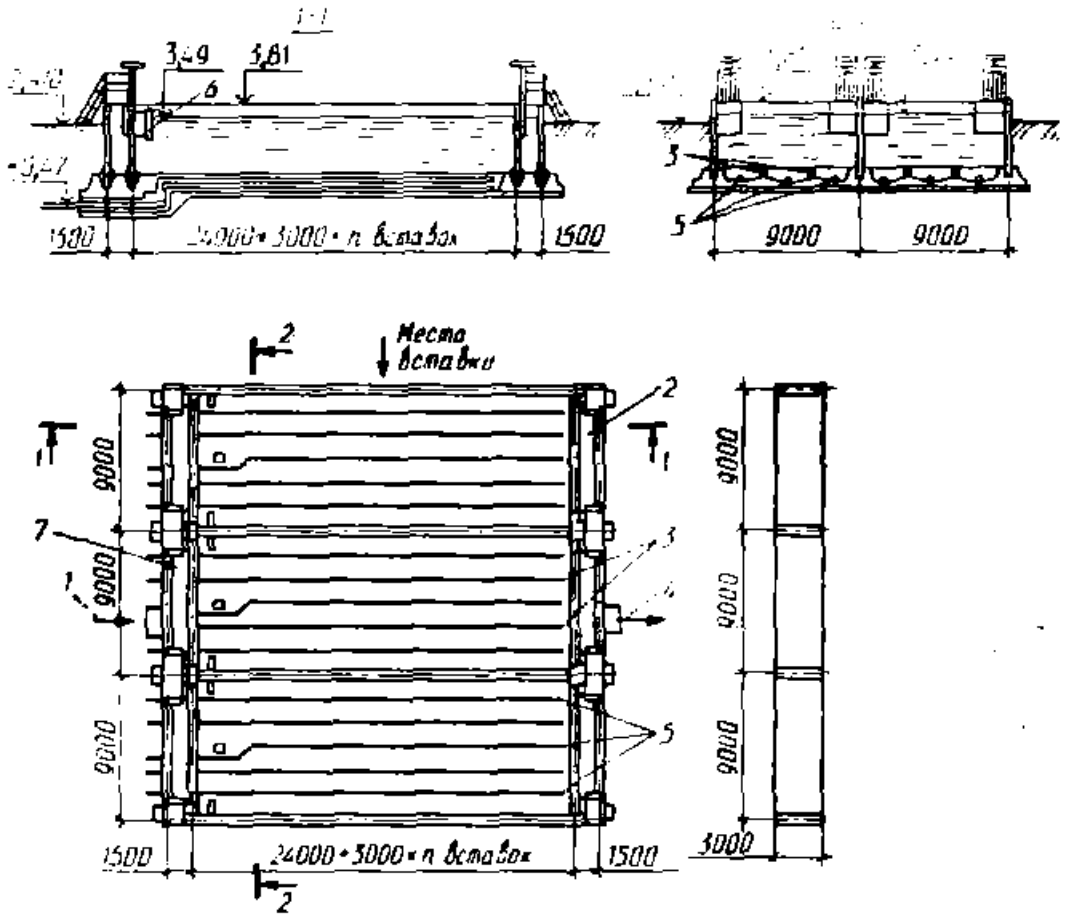


Рис. 11.12. Контактный резервуар:
1 — подвод воды; 2 — сборный канал; 3 — воздуховод; 4 — отвод воды; 5 — трубопровод технической воды; 6 — струенаправляющий щит; 7 — распределительный канал

ГЛАВА 12

СООРУЖЕНИЯ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

12.1. Виды и свойства осадков

Осадки сточных вод представляют собой примеси в твердой фазе, выделенные из воды в результате механической, биологической и физико-химической очистки или сочетания этих методов очистки стоков (табл. 12.1).

Основные свойства осадков (формы связи воды, удельное сопротивление, пластичность, вязкость, а также химические и физико-механические особенности) во многом зависят от влажности, которая в исходных осадках обычно находится в пределах 99,7 ...

Таблица 12.1. **Виды осадков**

Группа осадков или примесей	Классификация осадков	Сооружения и оборудование, задерживающие осадки или обрабатывающие их
I	Осадки грубые (отбросы)	Решетки, сита
II	Осадки тяжелые	Песколовки
III	Осадки плавающие	Жироловки, отстойники
IV	Осадки первичные, сырые, выделенные из сточной воды в результате механической очистки и не подвергнутые обработке	Отстойники первичные, осветлители
V	Осадки вторичные, сырые, выделенные из сточной воды после биологической и физико-химической очистки	Отстойники вторичные, флотаторы
VI	Осадки сброженные, прошедшие обработку в анаэробных перегнивателях, или осадки, стабилизированные в аэробных стабилизаторах	Септики, двухъярусные отстойники, осветлители-перегниватели, метатенки, аэробные стабилизаторы
VII	Осадки уплотненные, подвергнутые сгущению до предела текучести (до влажности 90...85%)	Уплотнители, центрифуги-уплотнители, сепараторы
VIII	Осадки обезвоженные, подвергнутые сгущению до влажности 80...40%	Иловые площадки, вакуум-фильтры, центрифуги, фильтр-прессы, шнековые прессы и др.
IX	Осадки сухие, подвергнутые термической сушке до влажности 40...5%	Сушилки: барабанные, вальцовые, с кипящим слоем, со встречными струями, камерные, ленточные и др.

90%. Различают три формы связи воды с твердыми частицами в осадке: свободную, коллоидно-связанную и химически связанную. При удалении из осадков свободной воды объем изменяется обратно пропорционально содержанию сухих веществ и может быть определен по формуле

$$V_2 = V_1(100 - W_1)/(100 - W_2), \qquad (12.1)$$

где V_1, V_2 — объем соответственно первоначальный и измененный, м^3; W_1, W_2 — влажность соответственно первоначальная и измененная, %.

Формула (12.1) может быть использована при влажностях более 70 ... 80%.

Удельное сопротивление. Одним из показателей интенсивности обезвоживания суспензий является удельное сопротивление осадков фильтрации. Чем больше удельное сопротивление, тем хуже фильтрация и обезвоживание. Удельное сопротивление можно уменьшить обработкой осадков химическими реагентами, воздействием теплом или холодом.

Таблица 12.2. **Свойства осадков городских сточных вод**

Тип осадков	Влажность, %	Количество осадка на 1 чел/сут		Удельное сопротивление $r.10^{-10}$, см/г			Зольность сухого вещества, %
		сухое вещество, г	объем влажного осадка, л	исходный осадок	после коагуляции	после промерзания	
Сырой осадок первичных отстойников	92...97	25...40	0,5...0,8	50...500	5...40	10	15...30
Сброженный осадок первичных отстойников в мезофильных условиях	93...96	30	0,4...0,7	350...1800	10...60	15	35
Сырой активный ил (*уплотненный*)	97	20...32	0,7...1,1	150...5000	10...50	2	20...30
Сброженный в мезофильных условиях активный ил	94...96	15...25	0,3...0,6	2300	150...200	—	35...40
Смесь осадка первичных отстойников и активного ила (уплотненный)	93...97	45...70	0,6...2,3	200...1200	—	—	20...30
То же, *сброженный* в мезофильных условиях	92...98	30...45	0,4...2,2	1200...1600	—	—	35...40
То же, сброженный в термофильных условиях	96...97	30...45	0,75...1,5	1400...10 000	—	—	40
Аэробно стабилизированный активный ил (уплотненный)	97	15...25	0,3...0,6	4000...6000	—	—	30...35

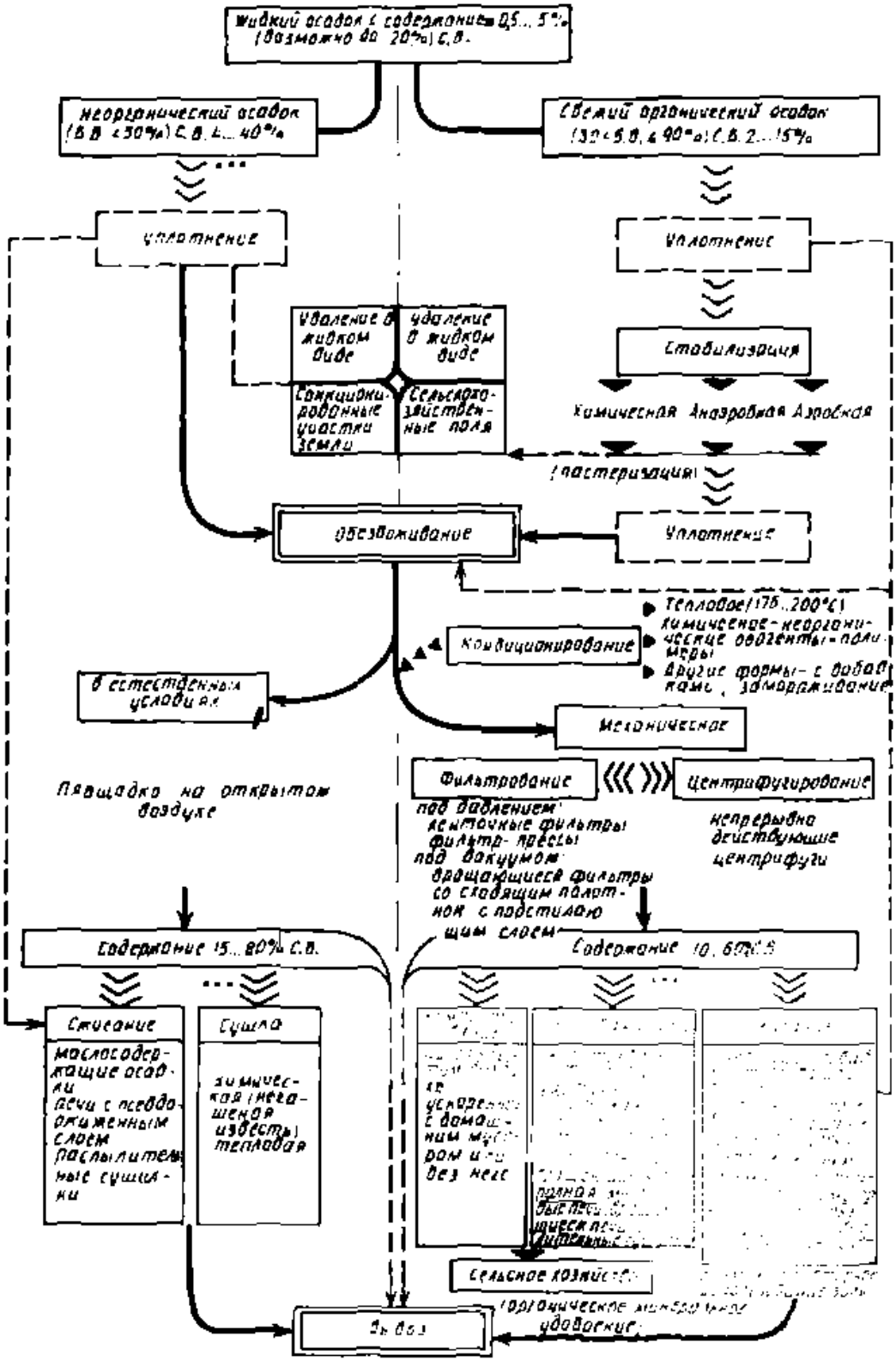


Рис. 12.1. Методы обработки осадков и их взаимосвязь

Некоторые данные по свойствам осадков городских сточных вод даны в табл. 12.2.

Методы обработки осадков и их взаимосвязь приведены на рис. 12.1 (С. В. — сухое вещество, Б. В.— доля беззольного вещества в составе сухого вещества).

12.2. Илоуплотнители

Уплотнение — наиболее простой и распространенный способ уменьшения объема осадков, обеспечивающий повышение производительности последующих сооружений по обработке осадков. Влажность осадков после уплотнения должна обеспечивать их свободное транспортирование по трубам. На уплотнение поступают осадки из первичных отстойников, избыточные активные илы, смесь осадка первичных отстойников и избыточного активного ила, пена после флотационной очистки, осадки и илы после стабилизации.

Таблица 12.3. Параметры гравитационных илоуплотнителей

Характер ила	Влажность уплотненного ила, %		Продолжительность уплотнения, ч		Скорость движения жидкости в отстойной зоне вертикального уплотнения, мм/с
	Тип уплотнителя				
	вертикальный	радиальный	вертикальный	радиальный	
Иловая смесь из аэротенков с концентрацией 1,5...3 г/л	—	97,3	—	5...8	—
Активный ил из вторичных отстойников с концентрацией 4 г/л	98	97,3	10...12	9...11	≤ 0,1
Активный ил из зоны отстаивания аэротенков-отстойников при концентрации 4,5...6,5 г/л	93	97	16	12...15	≤ 0,1
Смесь осадка первичных отстойников и активного ила	93...95	93...95	7...10	7...10	< 0,3

Илы уплотняют в гравитационных уплотнителях (отстойниках радиального и вертикального типов), а также во флотаторах.

Гравитационные илоуплотнители могут работать с предварительной коагуляцией осадков или без нее. Основные данные для проектирования уплотнителей приведены в табл. 12.3. Типовые радиальные илоуплотнители имеют диаметр 18, 24 и 30 м.

Радиальные уплотнители оборудуют илоскребами со стержневой решеткой для перемешивания осадка (рисю. 12.2). Расстояние между

стержнями 0,3 м, частота вращения илоскреба 2 ... 4 $ч^{-1}$. Число илоуплотнителей должно быть не менее двух. Сливная вода из уплотнителей направляется в аэротенки.

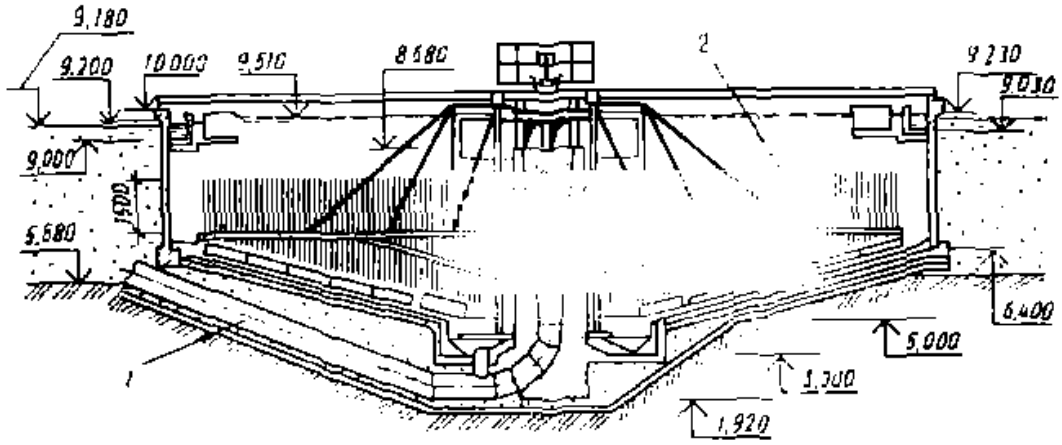


Рис. 12.2. Радиальный илоуплотнитель со стержневой мешалкой:
1 — подающий трубопровод; 2 — илоскреб с вертикальной решеткой

При совместном уплотнении осадка первичных отстойников и избыточного активного ила последний сначала направляется в преаэратор, где аэрируется с поступающей сточной водой в течение 5 ... 20 мин, а затем осветляется в первичном отстойнике и оттуда смесь осадков подают на уплотнение с последующим механическим обезвоживанием.

Флотационные илоуплотнители работают по принципу напорной флотации. Диспергирование воздуха в иловой среде осуществляется двумя способами: непосредственным насыщением воздухом объема ила и путем насыщения воздухом рециркулирующей части осветленной воды из вторичных отстойников. Конструкция флотационного илоуплотнителя дана на рис. 12.3. Диаметр круглых флотаторов выбирается из следующего типоразмерного ряда: 6, 9, 12, 15, 18 и 24. Гидравлическую нагрузку на зеркало воды уплотнителя $q_н$, $м^3/м^2.ч$, принимают в зависимости от безразмерного критерия $JC_н$, где J — иловый индекс, $см^3/г$; $C_н$ — истинная концентрация иловой смеси, подаваемой во флотатор:

$JC_н$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$q_н$ ...	12	10	9	8	7,5	6,7

Продолжительность пребывания ила в зоне уплотнения $T_у$ = 2 ... 3 ч, в зоне осветления $T_о$ = 0,2 ... 0,33 ч. Время насыщения жидкости воздухом в напорном баке 2 ... 4 мин, давление в напорном баке 0,3 ... 0,4 МПа, удельный расход растворенного воздуха 5 л/кг твердого вещества ила. Необходимое содержание воздуха в иловой смеси $W_р$, $м^3/м^3$ (>0,33);

в схеме с рециркуляцией

$$W_р = hB_р V_п (10 f_в p - 1)/(C_0 V); \quad (12.2)$$

при непосредственном насыщении ила воздухом

$$W_р = hB_р (10 f_в p - 1)/C_0. \quad (12.3)$$

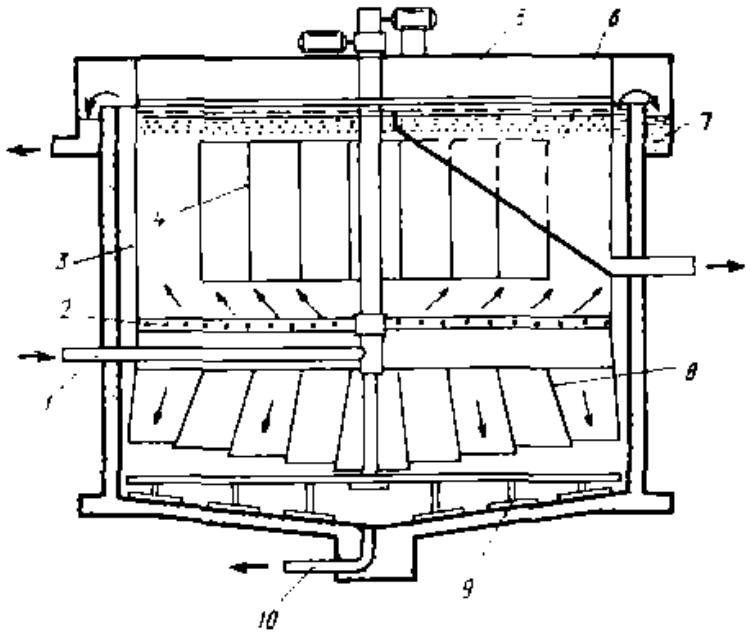


Рис. 12.3. Флотационный иглоуплотнитель конструкции ВНИИ ВОДГЕО:

1 — подача иловоздушной смеси; 2 — вращающийся дырчатый распределитель; 3 — периферийная перегородка; 4 — цилиндрические перегородки; 5 — илоскреб; 6 — конические перегородки; 7 — кольцевой водослив; 8 — конические перегородки; 9 — скребковое устройство; 10 — отвод выпавшего ила и опорожнения уплотнителя

где h — рабочая глубина флотатора, м; $B_р$ — количество растворенного воздуха, освободившегося при снижении давления из 1 л жидкости, см^3; $V_п$ — объем рециркуляционного потока, насыщенного воздухом, м^3; V — объем ила, м^3; $f_в$ — степень насыщения ила воздухом в зависимости от давления и температуры, доли единиц (ср. 0,6); p — давление воздуха, МПа; C_0 — начальная концентрация активного ила, кг/м^3.

Концентрация взвешенных веществ в иловой воде 200 ... 300 мг/л. Конечная влажность уплотненного ила 94,5 ... 95%.

12.3. Сооружения анаэробного сбраживания

Сбраживание (минерализация) органического вещества осадков в анаэробных условиях может проводиться в двухъярусных отстойниках (см. § 9.5), осветлителях — перегнивателях или метантенках.

Метантенки применяются для анаэробного сбраживания осадков городских сточных вод на крупных станциях очистки (табл. 12.4). Условно принято, что распад органических веществ происходит в две фазы: 1) гидролиз сложных органических веществ с образованием жирных кислот, спиртов, альдегидов и др; 2) превращение этих промежуточных веществ в метан, углекислоту, а также бикарбонатные и карбонатные соли.

Таблица 12.4. Классификация метантенков по температуре сбраживания

Название режима	Температура, °С	Условия применения и характеристики
		Одноступенчатые
Психрофильный (без подогрева)	10...15	В районах со среднемесячной температурой воздуха самого холодного месяца не ниже −5° С
Мезофильный	33	Экономически целесообразно при выходе газа более 10 м³ на 1 м³ сбраживаемого осадка; требуется дополнительная дегельминтизация осадка; малое удельное сопротивление сброженного осадка
Термофильный	53	Большой расход тепла; строительная стоимость меньше, чем при мезофильном режиме; обеспечивается дегельминтизация осадка; большое удельное сопротивление сброженного осадка
		Двухступенчатые
I ступень — мезофильный	33	
II ступень — без подогрева	10...15	В районах со среднегодовой температурой воздуха не ниже 6° С; снижение объема и влажности сброженного осадка

Объем метантенков V, м³, определяется в зависимости от влажности осадка p_{mud}, %, по суточной дозе загрузки $Д_{mi}$, %:

$$V = M_{общ} 100 / Д_{mi}, \qquad (12.4)$$

где $M_{общ}$ — количество осадков, поступающих за 1 сут в метантенки, м³.

Распад беззольного вещества осадка R_r, %, в зависимости от дозы загрузки

$$R_r = R_{lim} - k_r Д_{mi}, \qquad (12.5)$$

где R_{lim} — максимально возможное сбраживание беззольного вещества осадка, %; k_r — коэффициент, зависящий от влажности осадка (табл. 12.5).

Таблица 12.5. **Максимальная суточная доза осадка городских сточных вод и значение коэффициента k_r**

Режим сбраживания	Влажность загружаемого осадка, %				
	93	94	95	96	97
Суточная доза загрузки $Д_{заг}$, %					
Мезофильный	7	8	8	9	10
Термофильный	14	16	17	18	19
Коэффициент k_r					
Мезофильный	1,05	0,89	0,72	0,56	0,40
Термофильный	0,455	0,385	0,31	0,24	0,17

Примечание: При наличии в сточных водах поверхностно-активных веществ более 5 мг/л суточная доза загрузки подлежит уточнению (уменьшению).

Максимально возможное сбраживание беззольного вещества загружаемого осадка R_{llm}, %:

$$R_{llm} = (0{,}92C_{fat} + 0{,}62C_{gl} + 0{,}34C_{prt})100, \qquad (12.6)$$

где C_{fat}, C_{gl}, C_{prt} — соответственно содержание жиров, углеводов и белков (г) на 1 г беззольного вещества осадка.

При отсутствии данных о химическом составе осадка R_{llm} принимают для осадков из первичных отстойников 53%, для избыточного активного ила 44%, для смеси осадков по среднеарифметическому отношению смешиваемых компонентов по беззольному веществу.

Таблица 12.6. **Выход газа с 1 г различных органических веществ**

Газообразующие элементы	Выход газа на 1 г распавшегося вещества		Состав газа, %		Средняя плотность при 20 °С, кг/м³
	л	г	CH_4	CO_2	
Жиры	1,25	1,41	68	32	1,05
Углеводы	0,79	1,06	50	50	1,25
Белки	0,704	0,76	71	29	1,01

Весовое количество, плотность и состав газа, получаемого при сбраживании, принимаются по табл. 12.6, а при отсутствии данных о газообразующих элементах 1 г на 1 г распавшегося беззольного вещества загружаемого осадка, плотность газа 1 кг/м³ теплотворная способность газа 21 МДж/м³.

Конструкции метантенков даны на рис. 12.4 и рис. 12.5; размеры приведены в табл. 12.7. В СССР применяются в основном метантенки с незатопленным неподвижным перекрытием. Круглые в плане резервуары метантенков выполняют из железобетона или стали

Таблица 12.7. **Конструктивные размеры метантенков**

Номер проекта	D, м	Полезный объем, V, м^3	Высота, м			Строительный объем, м^3	
			верхнего конуса $H_{вк}$	цилиндрической части $H_ц$	нижнего конуса $H_{нк}$	здания обслуживания	газовых колпаков
902-5-38.87	12,3	1000	1,9	9,6	2,15	652	100
902-5-39.87	14,0	1600	2,35	11,8	2,6	2035	112
902-5-40.87	16,6	2500	2,5	12,5	3,05	2094	136
902-5-41.87	19,2	4000	2,9	14,7	3,5	2520	174
Ново-Курьяновской станции	18,0	6000	3,15	18,0	3,5	2700	170
Люберецкой станции	22,4	8000	4,45	16,3	3,7	2000	170
902-5-18.86	22,75	9000	4,52	17,88	3,62	—	—

с внутренним противокоррозионным покрытием. Число метантенков должно быть не менее двух, при этом резервных емкостей не предусматривают.

Резервуары рассчитывают на избыточное давление газа 5 кПа. Расположение статического уровня осадка на 0,2 ... 0,3 м выше основания горловины, а верха горловины — на 1,0 ... 1,5 м выше динамического уровня осадка. Площадь газосборной горловины определяется из условия пропуска 600 ... 800 м^3 газа на 1 м^2/сут. Перемешивающие устройства (механические смесители, насосы) должны обеспечить пропуск всего объема сбраживаемой массы в течение 5 ... 10 ч. Для перемешивания используется также газ.

Подогрев сбраживаемых осадков осуществляется путем введения в метантенк пара через пароструйные инжекторы или при помощи внутренних или внешних теплообменников. Удельный расход острого пара для мезофильного процесса 25 ... 40 кг/м^3 осадка, для термофильного процесса 50 ... 70 кг/м^3.

При проектировании метантенков предусматривают мероприятия по взрывопожаробезопасности оборудования и обслуживающих помещений в соответствии с ГОСТ 12.3.006—75.

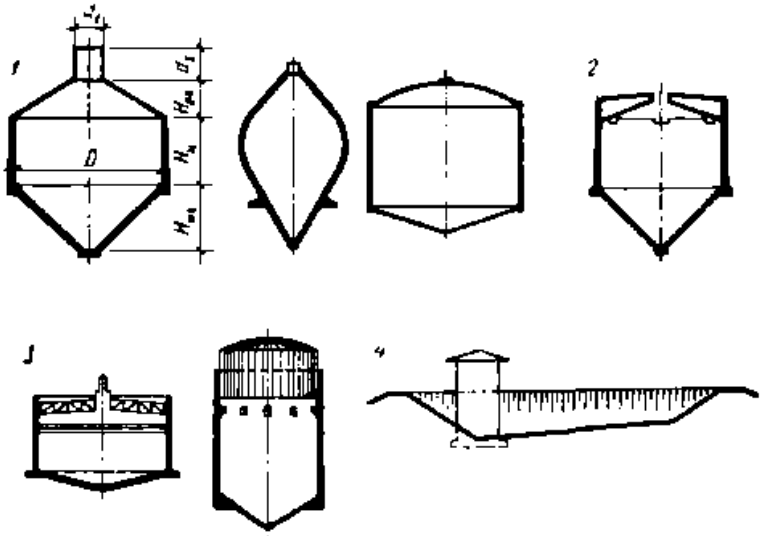


Рис. 12.4. Конструкции метантенков:
1 — с неподвижным неутепленным перекрытием; 2 — с неподвижным утепленным перекрытием; 3 — с подвижным (плавающим) перекрытием; 4 — открытые

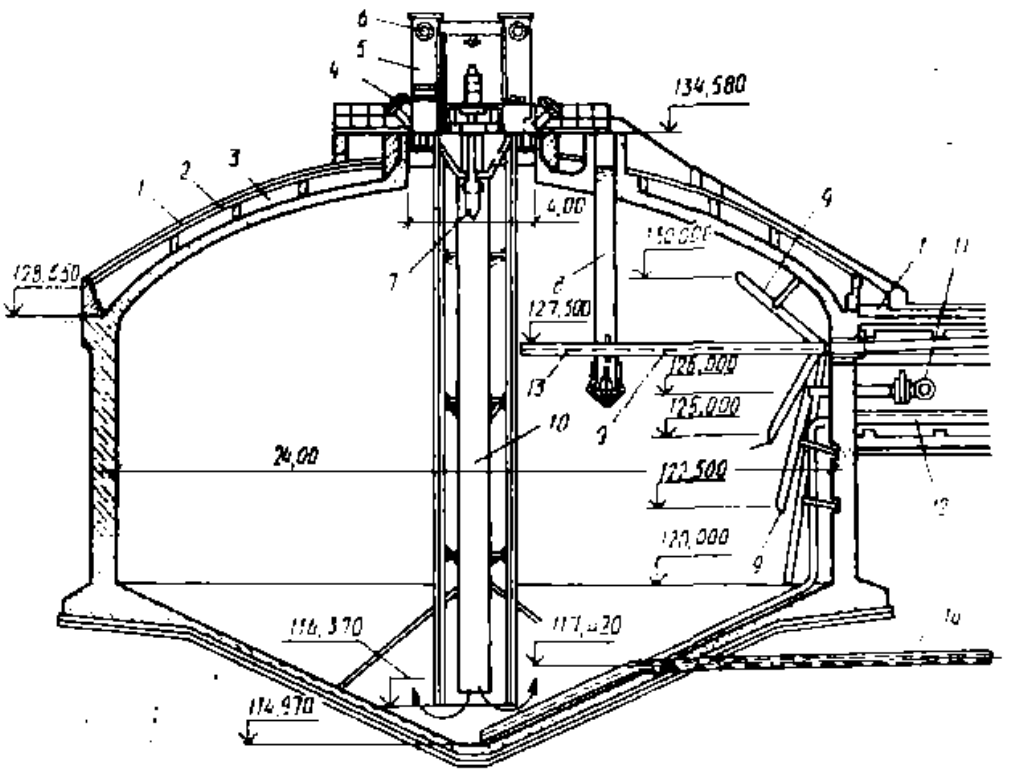


Рис. 12.5. Схема метантенка Ново-Курьяновской станции аэрации ($V = 5200$ м^3):

1 — битумная обмазка; 2 — клинкерная кладка; 3 — теплоизоляция (шлак); 4 — контрольный люк; 5 — газосборная горловина; 6 — труба для отвода газа; 7 — механический смеситель; 8 — перепускная труба; 9 — выпуск осадка с разных уровней; 10 — направляющая труба для циркуляции иловой смеси; 11 — трубопровод для подачи пара на обогрев; 12 — труба выпуска сброженного осадка; 13 — труба подачи осадка; 14 — труба для опорожнения метантенка

Газ, получаемый в результате сбраживания осадков в метантенках, используют в теплоэнергетическом хозяйстве очистной станции. Трубопроводы газа должны быть защищены от коррозии.

Для регулирования давления и хранения газа предусматриваются мокрые газгольдеры (табл. 12.8), емкость которых рассчитывают на 2 ... 6-часовой выход газа. Давление под колпаком 1,5 ... 4,0 кПа. Расстояние от газгольдера до котельной и других помещений должно быть не менее 30 м.

Таблица 12.8. Основные данные газгольдеров

Объем газгольдера, $м^3$	Внутренний диаметр, м		Высота, м			Расход металла, т
	резервуара	колокола	газгольдера	резервуара	колокола	
100	7,40	6,60	7,45	3,45	3,40	14
300	9,30	8,50	12,50	5,92	6,88	25
600	11,48	10,68	15,40	7,39	7,61	41,4
1000	14,50	13,70	15,40	7,39	7,61	53
3000	21,05	20,25	20,10	9,80	9,90	126
6000	26,90	26,10	24,20	11,75	12,05	192

12.4. Сооружения аэробной стабилизации

Метод аэробной стабилизации заключается в длительном аэрировании неуплотненного или уплотненного избыточного активного ила, а также смеси его с сырым осадком в сооружениях типа аэротенков (стабилизаторах).

Аэробная стабилизация применяется на очистных станциях пропускной способностью до 50 000 $м^3$/сут по технологическим схемам, приведенным на рис. 12.6. Схемы 1а и 1б применяются на сооружениях без первичных отстойников, схема 2 при раздельной или совместной обработке сырого осадка и уплотненного избыточного активного ила, схема 3 — при совместной обработке сырого осадка и неуплотненного активного ила, схемы 4, 5 — при использовании центрифуг для механического обезвоживания стабилизированного осадка.

Основными расчетными параметрами процесса являются продолжительность стабилизации (t, сут) и расход воздуха (D, $м^3/м^3$).

Для стабилизации активного ила в стабилизаторе (реакторе-вытеснителе) требуется время

$$t_{выт} = [(8...10) + 0{,}02(20 - T_a)(\tau + 5)]1{,}08^{20 - T_c}, \qquad (12.7)$$

где T_a, T_c — расчетная температура в аэротенке и стабилизаторе (принимается в пределах 8 ... 35° С); τ — возраст ила, сут.

Удельный расход кислорода для аэрации (q, кг O_2/кг органических веществ ила):

$$q = (0{,}96 + 0{,}016t)/(1 + 0{,}108t). \quad (12.8)$$

Расход воздуха для аэрации определяется аналогично аэротенкам:

$$D = 1000qs_0/K_1K_2K_TK_3(C_p - C), \quad (12.9)$$

где s_0 — концентрация беззольного вещества в поступающем на стабилизацию иле, кг/м^3; C — концентрация кислорода в стабилизаторе, 1 ... 2 мг/л; значения остальных коэффициентов определяют как для аэротенков. Интенсивность аэрации должна быть не менее 6 м^3/м^2·ч.

При стабилизации смеси осадка из первичных отстойников (сырого осадка) и активного ила параметры t и q рассчитывают по формулам

$$t_c = t_{ил} + 2B; \quad (12.10)$$

$$q_c = q_{ил}(1 + 0{,}4B\sqrt{t}). \quad (12.11)$$

где t_c, $t_{ил}$ — период стабилизации смеси активного ила, сут, вычисляемый по формуле (12.7); q_c, $q_{ил}$ — удельное количество кислорода для смеси и для ила, кг O_2/кг БЗ, вычисляемое по формуле (12.8); B — отношение беззольного вещества осадка к беззольному веществу смеси.

Для аэробной стабилизации предусматривают сооружения типа коридорных аэротенков.

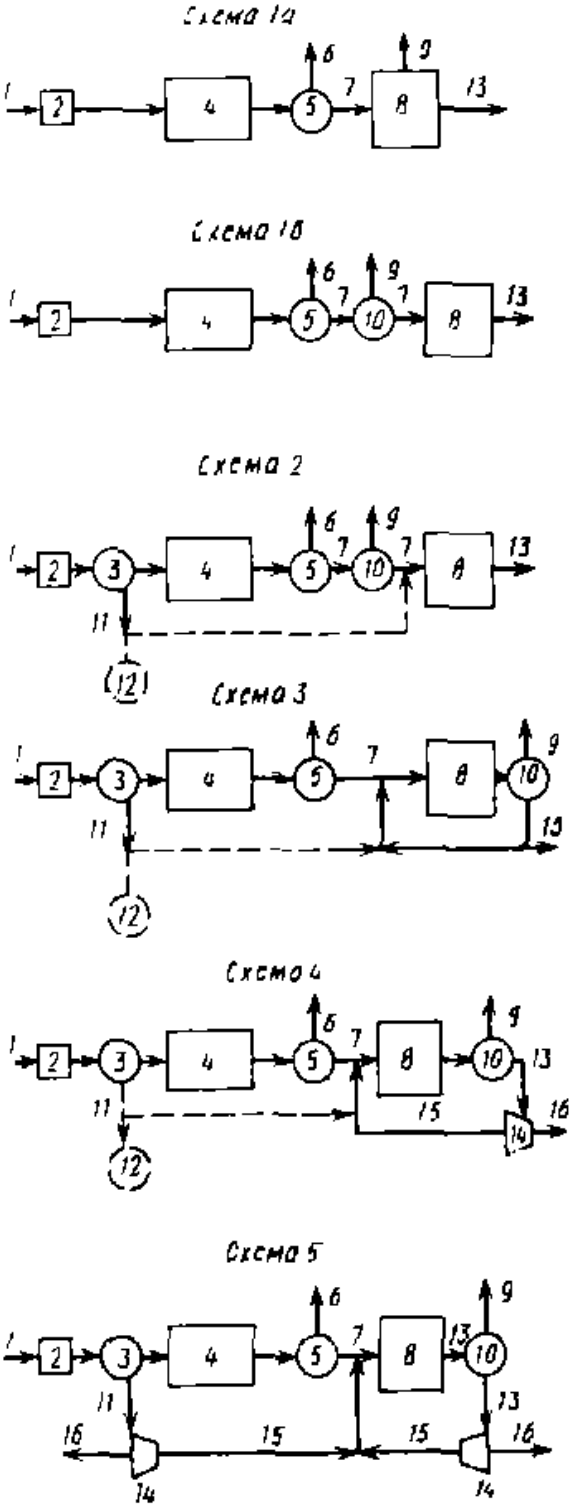


Рис. 12.6. Схемы процесса аэробной стабилизации ила:

1 — подача сточной воды; *2* — решетка, песколовка; *3* — первичный отстойник; *4* — аэротенк; *5* — вторичный отстойник; *6* — очищенный сток; *7* — избыточный активный ил; *8* — стабилизатор; *9* — иловая вода; *10* — уплотнитель; *11* — осадок из первичного отстойника; *12* — метантенк; *13* — стабилизированный осадок; *14* — центрифуга; *15* — фугат; *16* — обезвоженный осадок

Уплотнение аэробно-стабилизированного осадка проводится либо в отдельно стоящих уплотнителях, либо в специально выделенной зоне внутри стабилизатора при времени не более 5 ч. Влажность уплотненного осадка 96,5 ... 98,5%. Иловая вода из уплотнителей направляется в аэротенки. Ее загрязнения следует принимать: по $БПК_{полн}$ — 200 мг/л, ХПК — 350 ... 700 мг/л, взвешенных веществ — до 100 мг/л.

12.5. Установки механического обезвоживания

Механическое обезвоживание применяют для снижения влажности осадков до величины, при которой обеспечиваются оптимальные условия транспортирования, утилизации или сушки и сжигания осадков. Для обезвоживания осадков применяются вакуум-фильтры, фильтр-прессы, центрифуги или вибросита обычно с предварительным кондиционированием осадков.

Кондиционирование улучшает водоотдающие свойства осадков, повышает производительность обезвоживающих аппаратов, снижает влажность обезвоженных осадков и увеличивает чистоту отделяемой воды. Кондиционирование может проводиться с помощью различных реагентов, путем тепловой обработки осадков, а также путем замораживания и оттаивания осадков.

Реагентная обработка состоит в коагуляции осадков солями железа, алюминия и известью. Реагенты вводят в осадок в виде 10%-ных растворов. Наиболее эффективным является хлорное железо, применяемое обычно в сочетании с известью. Доза хлорного железа в среднем составляет 3 ... 9%, извести — 8 ... 25% (на сухое вещество обрабатываемого осадка). Известь используют не только в сочетании с другими реагентами, но и как самостоятельный коагулянт. В последнее время применяют синтетические (преимущественно катионные) флокулянты в количестве 0,2 ... 1,5%.

Если удельное сопротивление осадка (r) выше (1000 ... 1500) 10^{10} см/г, то перед коагулированием осадок подвергается *промывке*. Количество промывной воды, $м^3/м^3$,

$$q = \lg(r10^{-10}) - 1{,}8. \qquad (12.12)$$

Перемешивание осадка с промывной водой осуществляется в течение 15 ... 20 мин в аэрируемых смесителях при расходе воздуха 0,5 $м^3/м^3$ смеси. Смесь осадка с промывной водой далее направляется в уплотнитель, рассчитанный на 12 ... 18 ч пребывания жидкости. Влажность уплотненного осадка 94 ... 96%. Сливная вода из уплотнителей содержит 100 ... 1500 мг/л взвешенных веществ и имеет $БПК_{полн}$ = 600 ... 900 мг/л. Схема промывки и кондиционирования осадка с последующим обезвоживанием на вакуум-фильтре представлена на рис. 12.7.

Тепловая обработка осадков производится в интервале температур 180 ... 205° С и времени 0,5 ... 2,0 ч. В результате воздействия высокой температуры и давления (1,5 ... 2,0 МПа) изменяется структура и влагоотдача осадка: часть его (до 40%) переходит в растворенное состояние, а остаток образует плотные, хорошо уплотняющиеся агрегаты с удельным сопротивлением фильтрованию (5 ... 30) 10^{10} см/г. Загрязнение иловой воды ориентировочно составляет по $БПК_{полн}$ = 8 ... 10 г/л и она очищается в аэротенках

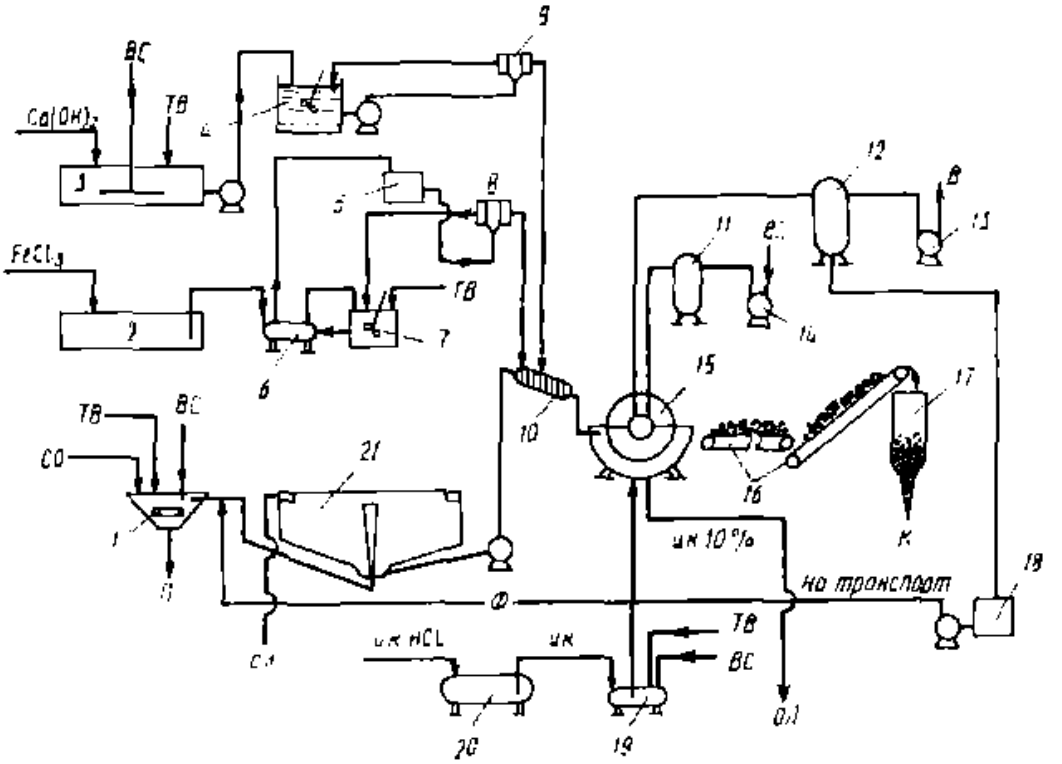


Рис. 12.7. Схема вакуум-фильтрации осадка с предварительной промывкой, уплотнением и реагентной подготовкой:

1 — промывная камера; *2* — емкость для хранения хлорного железа; *3* — растворный бак извести; *4, 5* — расходные баки; *6* — мерник; *7* — растворный бак; *8, 9* — дозаторы; *10* — смеситель; *11* — ресивер; *12* — ловушка фильтрата; *13* — вакуум-насос; *14* — воздуходувка; *15* — вакуум-фильтр; *16* — транспортеры; *17* — бункер для осадка; *18* — бак для фильтрата; *19* — растворный бак-мерник; *20* — цистерна для хранения ингибированной серной кислоты; *в* — вакуум; *ВС* — воздух сжатый; *ик* — ингибированная кислота; *к* — кек с вакуум-фильтра, *п* — песок; *сл* — сливная вода от илоуплотнителя; *го* — сброженный осадок; *ТВ* — техническая вода; *ф* — фильтрат

или метантенках. Механическое обезвоживание осадков после тепловой обработки осуществляется преимущественно на фильтрпрессах.

Замораживание и оттаивание осадков приводят к резкому снижению удельного сопротивления, что позволяет обезвоживать осадки механическим путем без предварительного коагулирования химическими реагентами. При искусственном замораживании

оптимальные значения удельного теплового потока составляют 230 ... 700 Вт/м^2. Расход электроэнергии на 1 м^3 осадка около 50 кВт. (Метод не нашел широкого использования.)

Для использования эффекта замораживания осадка в естественных условиях при подсушке на иловых площадках толщина слоя осадка перед наступлением морозов не должна превышать возможной для данного климатического района глубины промерзания. Иловые площадки должны иметь водосливы для отведения воды с поверхности при оттаивании осадка.

Вакуум-фильтры. Для обезвоживания осадков используют вакуум-фильтры с наружной фильтрующей поверхностью: барабанные типа БсхОу (со сходящим полотном), дисковые типа ДУ и ленточные типа ЛУ. Для обезвоживания осадков городских сточных вод применяются непрерывно действующие барабанные вакуум-фильтры, остальные нашли применение для обезвоживания осадков производственных сточных вод.

Производительность вакуум-фильтра по сухому веществу осадка W, кг/(м^2·ч).

$$W = 0{,}24\,\frac{100 - B_к}{B_н - B_к}\sqrt{\frac{pmp(100 - B_н)}{\eta TR}}. \qquad (12.13)$$

где $B_к$, $B_н$ — влажность исходного осадка и кэка, %; ρ — плотность исходного осадка, т/м^3; m — доля времени действия вакуума от общего цикла работы фильтра, %; p — рабочий вакуум, Па; η — вязкость фильтрата, Па·с; T — период вращения барабана, мин; $R = r \cdot 10^{-10}$ — удельное сопротивление осадка, см/г.

Основные технические характеристики барабанных вакуум-фильтров приведены в табл. 12.10. Схема фильтра дана на рис. 12.8.

Таблица 12.9. **Основные параметры работы вакуум-фильтров и фильтр-прессов**

Характеристика осадка	Исходная влажность осадка, %	Количество реагента к массе сухого вещества осадка, %		Производительность, кг сухого вещества осадка на 1 м^2 поверхности фильтра в 1 ч		Влажность кэка, %	
		$FeCl_3$	CaO^a	вакуум-фильтров	камерных фильтр-прессов	при вакуум фильтровании	при камерном фильтр-прессовании
Сброженный осадок из первичных отстойников	94	3...4	8...10	25...35	12...17	75...77	60...65
Сырой осадок из первичных отстойников	95	1,5...3	6...10	30...40	12...16	72...75	55...60

Продолжение табл. 12.9

Характеристика осадка	исходная влажность осадка, %	Количество реагента к массе сухого вещества осадка, %		Производительность, кг сухого вещества осадка на 1 м² поверхности фильтра в 1 ч		Влажность, кэка, %	
		$FeCl_3$	CaO*	вакуум-фильтров	камерных фильтр-прессов	при вакуум-фильтровании	при камерном фильтр-прессовании
Смесь сырого осадка из первичных отстойников и уплотненного активного ила	96.6	3...5	9...13	20...30	5...12	75...80	62...75
Уплотненный активный ил из аэротенков	97,5	6...9	17...25	8...12	2...7	85...87	80...83
Сброженная в мезофильных условиях смесь осадка первичных отстойников и активного ила, аэробно стабилизированный активный ил	95,5	4...6	12...20	20...25	10...16	78...80	62...68

* При обезвоживании осадка на камерных фильтр-прессах доза извести принимается на 30% больше.

Величина вакуума принимается в пределах $(40 \ldots 65) \cdot 10^{-3}$ Па, количество отсасываемого воздуха — 0,5 м³ мин на 1 м² поверхности. Давление сжатого воздуха на отдувке осадка 20 ... 30 кПа, расход 0,1 м³/мин на 1 м² поверхности. Доза реагентов при обработке осадков городских сточных вод, влажность исходного и обезвоженного осадка, а также удельная производительность вакуум-фильтров приведены в табл. 12.9. Фильтровальная ткань изготовляется из капрона (арт. 56023, 56126, 56159, 56026). Для предотвращения забивания при эксплуатации она периодически регенерируется 8 ... 10%-ным раствором ингибированной соляной кислоты. Срок службы фильтровальной ткани 800 ... 1200 ч.

Размеры типовых корпусов с вакуум-фильтрами приведены на рис. 12.11.

Фильтр-прессы рекомендуется применять в схемах, где конечной стадией обработки являются сушка, сжигание или утилизация, при которых требуется получение осадков с возможно низкой влажностью. По принципу действия фильтр-прессы бывают периодического и непрерывного действия. К первому типу относятся раздвижные

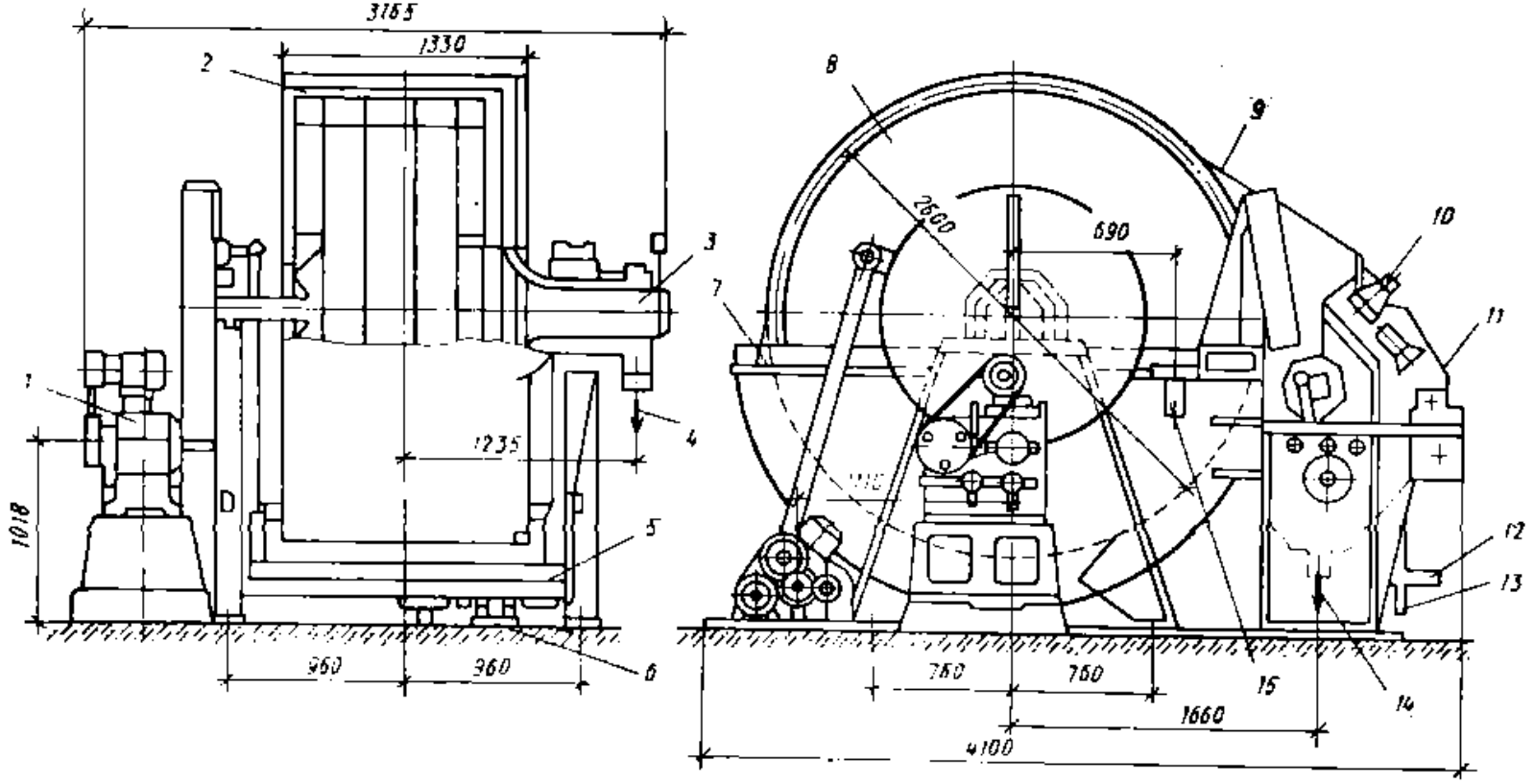


Рис. 12.8. Вакуум-фильтр марки БсхОУ-10-2,6:

1 — привод; *2* — перфорированное сито; *3* — распределительная коробка; *4* — вакуумная линия; *5* — мешалка; *6* — сливной патрубок; *7* — корыто; *8* — барабан; *9* — фильтровальная ткань; *10* — устройство для съема осадка; *11* — подача сжатого воздуха; *12* — подача промывной воды; *13* — подача кислоты; *14* — отвод промывных растворов; *15* — привод мешалки

Таблица 12.10. **Техническая характеристика вакуум-фильтров**

Показатели	Марка фильтра			
	БсхОУ-5-1,75	БсхОУ-10-2,6	БсхОУ-20-2,6*	БсхОУ-40-3,4
Площадь поверхности фильтрования, $м^2$	5	10	20	40
Диаметр барабана, мм	1750	2600	2600	3400
Длина барабана, мм	1000	1330	2700	3800
Частота вращения барабана, мин	0,108...2,05	0,13...1,5	0.13...2	0,1...1.45
Мощность электродвигателя привода, кВт				
барабана	1,1	1,7	3	5,5
Габаритные размеры, мм	2600x2960x2540	3165x4100x3052	4750x3230x3830	6300x5115x3725
Масса, кг	4990	7600	14 432	17 432

* Фильтр БсхОУ-20-2,6 намечен к производству (размеры даны для фильтра БОУ-20-2,6).

Таблица 12.11. **Техническая характеристика фильтр-прессов**

Марки прессов	Показатели			
	Площадь поверхности фильтрования, $м^2$	Рабочее давление, МПа	Ширина фильтрующей ткани, мм	Габаритные размеры, мм
Рамные (камерные)				
ФПАКМ-2,5У	2,5	1,2	700...750	2660x1760x2750
ФПАКМ-5У	5	1,2	845...920	3375x2000x2780
ФПАКМ-10У	10	1,2	845...920	3375x2000x3525
ФПАКМ-25У	25	1,2	1100...1200	3780x2150x4240
ФПАКМ-50У	50	1,2	1450	5000x2930x5500
ФПАВ-100	100	1	1600	9500x3000x3400
ФПАВ-300	300	0,8	1600	1430x3000x4200
Ленточные				
Лпр-10-1,2Р-001*		0,4	1500	

* Производительность ленточных фильтр-прессов при использовании катионного флокулянта в количестве 4 кг/т сухого вещества осадка достигает $12 м^3/ч$ по обезвоживаемому осадку. Влажность исходного осадка (смесь сырого осадка и активного ила) 96,5%, кэка 78%.

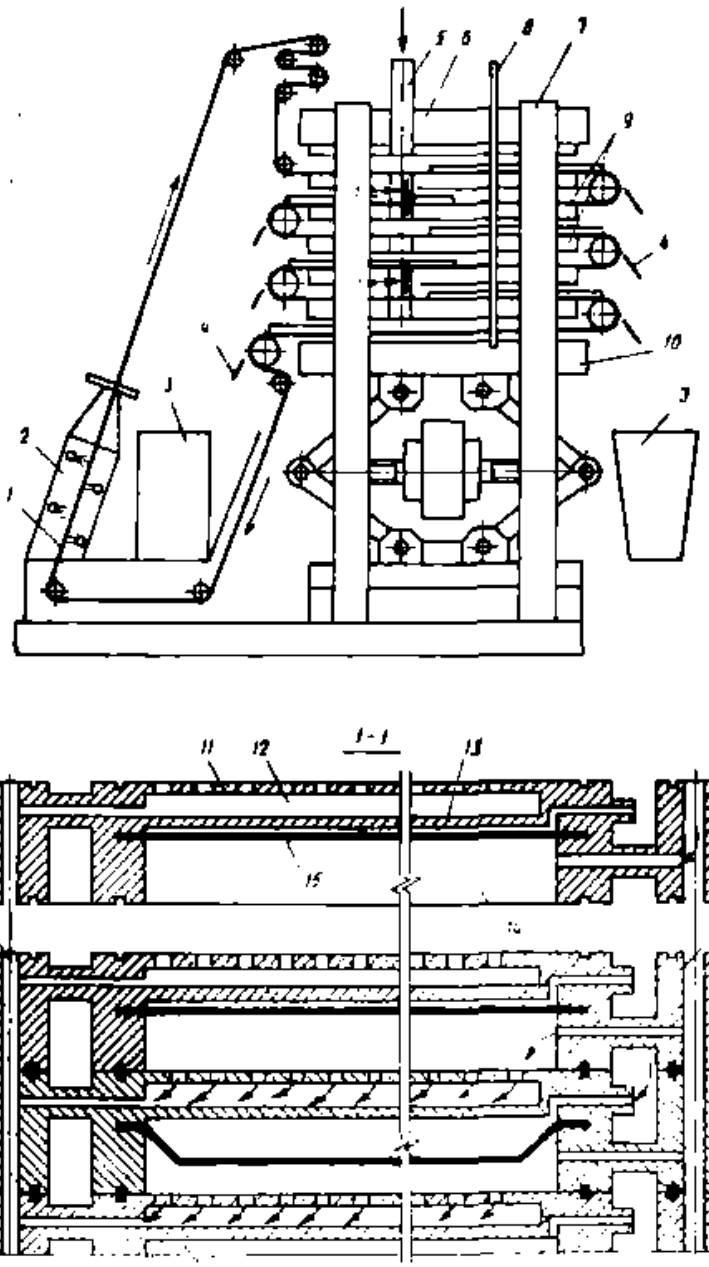


Рис. 12.9. Фильтр-пресс типа ФПКАМ (в момент выгрузки обезвоженного осадка):

1 — фильтровальная лента; 2 — камера регенерации фильтровальной ленты; 3 — бункер; 4 — вал для съема осадка; 5 — подающий коллектор; 6 — верхняя опорная плита; 7 — направляющие; 8 — коллектор для подачи воды на диафрагму; 9 — средняя фильтровальная плита; 10 — нижняя подвижная плита; 11 — перфорированная перегородка; 12 — подвеска; 13 — глухая горизонтальная перегородка; 14 — нижняя открытая часть; 15 — диафрагма; 16 — коллектор для отвода фильтрата

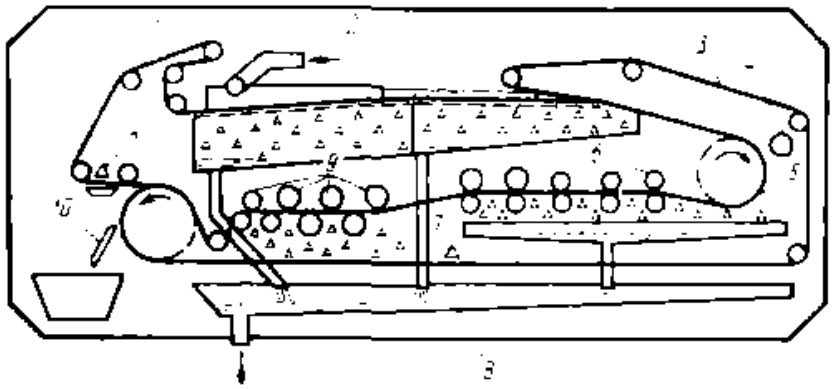


Рис. 12.10. Схема ленточного фильтр-пресса Лпр-10-1,2Р-001:
1 — первая фильтровальная лента; 2 — подача осадка; 3 — вторая фильтровальная лента; 4 — прижимной ролик; 5 — фильтрующий барабан; 6 — система отжимных шаров; 7 — система промывки фильтровальных лент; 8 — поддон; 9 — система отжимных роликов; 10 — нож для съема осадка

рамные фильтр-прессы (рис. 12.9), ко второму типу — ленточные фильтр-прессы (рис. 12.10). Основные параметры работы фильтр-прессов приведены в табл. 12.9, техническая характеристика — в табл. 12.11.

Типовые корпуса обезвоживания осадков с 4- или 6-ленточными фильтр-прессами (рис. 12.11) имеют производительность по сухому веществу соответственно 38 или 50 т/сут.

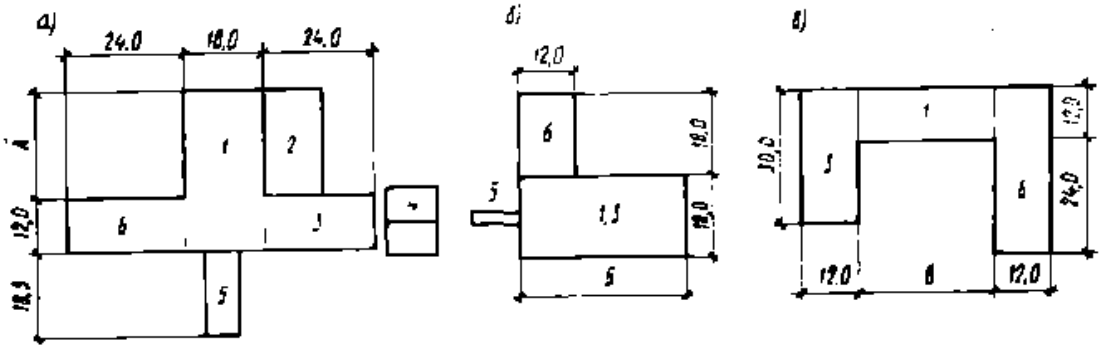


Рис. 12.11. Размеры корпусов механического обезвоживания:
а — вакуум-фильтры БелОУ-40-3,0 6 ед. (А = 24,0 м) 4 ед. (А = 18,0 м); б — ленточные фильтр-прессы ЛМП10-Г-01 6 ед. (Б = 36,0 м); 4 ед. (Б = 30,0 м); в — центрифуги ОГШ-1001К-01 3 ед. (В = 30,0 м); 3 ед. (В = 18,0 м); 1 — машинный зал; 2 — известковое хозяйство; 3 — реагентное хозяйство; 4 — резервуары хлорного железа; 5 — транспортер для выгрузки кека; 6 — бытовые помещения

Осадительные горизонтальные центрифуги со шнековой выгрузкой осадка рекомендуется применять на городских станциях аэрации производительностью до 100 000 м^3/сут.

Производительность центрифуг по исходному осадку, м^3/ч,

$$q_{cf} = (15...20) l_{rot} d_{rot}, \qquad (12.14)$$

где $l_{ц}$ — длина ротора, м; $d_{ц}$ — диаметр ротора, м.

Эффективность задержания сухого вещества осадка ε, %:

$$\varepsilon = 100 C_к (C_{ос} - C_ф) / C_{ос} (C_к - C_ф), \qquad (12.15)$$

где $C_к$, $C_{ос}$ и $C_ф$ — концентрации сухого вещества соответственно в кэке, осадке и фугате (%).

При работе с флокулянтами производительность принимается в 2 раза меньше, но при этом эффективность задержания сухого вещества увеличивается до 90 ... 95%.

Эффективность задержания сухого вещества и влажность кэка могут быть приняты по табл. 12.12.

Таблица 12.12. Основные параметры работы центрифуг

Характеристика осадка	Эффективность задержания сухого вещества, %	Влажность кэка, %
Сырой или сброженный осадок из первичных отстойников	45...65	65...75
Анаэробно сброженная смесь осадка из первичных отстойников и активного ила	25...40	65...75
Аэробно стабилизированная смесь осадка из первичных отстойников и активного ила	25...35	70...80
Сырой активный ил при зольности 28...35%	10...15	75...85

Перед подачей осадка на центрифуги предусматривается удаление из него песка, а перед центрифугами с диаметром ротора менее 0,5 м — установка решеток-дробилок.

При подаче фугата после центрифуг на очистные сооружения учитывается увеличение нагрузки на них по $БПК_{полн}$ и взвеси.

Доза флокулянтов катионного типа принимается 2 ... 7 кг/т сухого вещества осадка.

Основные технические характеристики отечественных центрифуг приведены в табл. 12.13 и на рис. 12.12, а схема центрифугирования осадка первичных отстойников с аэробной стабилизацией фугата в смеси с неуплотненным активным илом и с последующим центрифугированием ила — на рис. 12.6 (схема 5).

Размеры типовых корпусов с пятью или тремя центрифугами приведены на рис. 12.11.

Виброфильтры применяются для сгущения или обезвоживания труднофильтруемых осадков без предварительного кондиционирования их или после реагентной обработки. Частота колебания фильтровальной перегородки с размерами отверстий 0,1 ... 3 мм составляет 20 ... 50 Гц. Разделение фаз происходит либо под гидро-

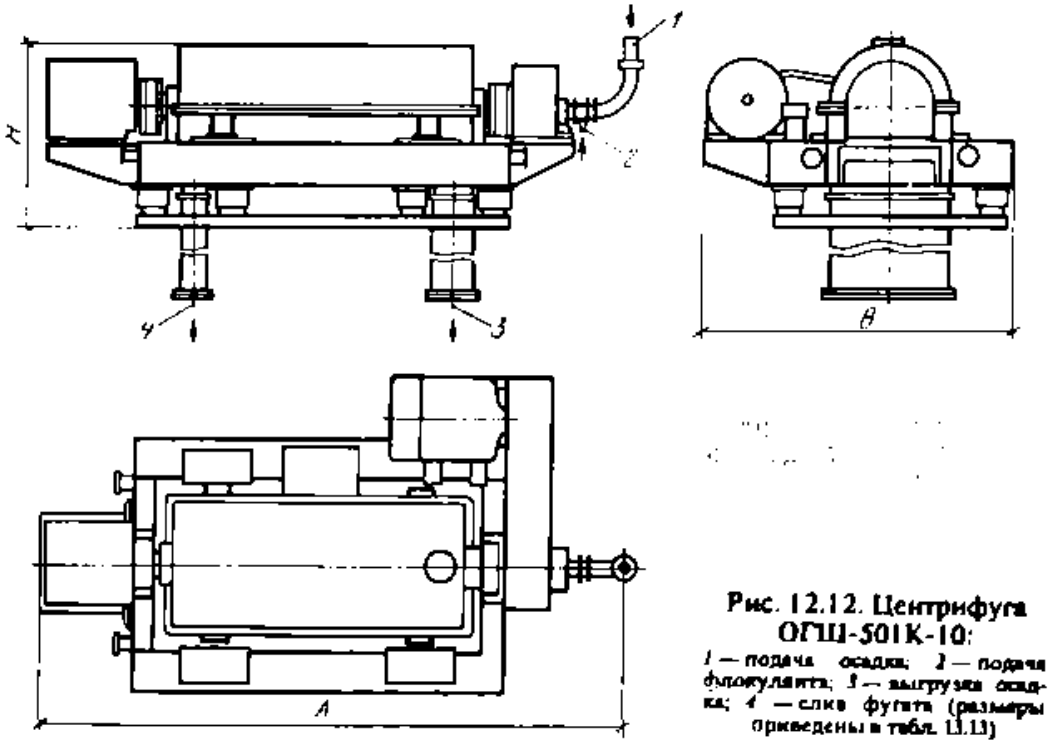


Рис. 12.12. Центрифуга ОГШ-501К-10:
1 — подача осадка; 2 — подача флокулянта; 3 — выгрузка осадка; 4 — слив фугата (размеры приведены в табл. 12.13)

Таблица 12.13. **Техническая характеристика серийных центрифуг**

Показатели	Значения показателей для центрифуг типов				
	ОГШ-352 К-03	ОГШ-502 К-04	ОГШ-631 К-02	ОГШ-1001 К-01	ОГШ-501 К-10
Расчетная производительность по исходному осадку, $м^3/ч$					
без флокулянтов	4...7	6...12	20...40	50...80	15...25
с флокулянтами	1...3	1...3	15...26	35...60	8...15
Наибольший рабочий диаметр ротора, мм	350	500	630	1000	500
Рабочая длина ротора, мм	1000	930	2370	3600	1800
Частота вращения ротора, $мин^{-1}$	2800... 4250	2000... 2650	3000	1000	2650
Габариты центрифуги с электродвигателем, мм:					
длина *A*	2200	2710	5100	6650	3860
ширина *B*	1860	1990	2750	3600	2080
высота *H*	1135	1526	1450	2130	1210
Мощность электродвигателя, кВт	18,5	28; 32	90	110	75

Таблица 12.14. **Технические параметры работы виброфильтров и грохотов в две стадии**

Вид осадка	Начальная влажность, %	Сгущение		Обезвоживание		Потери твердой фазы с фильтратом, %
		Конечная влажность, %	Производительность по сухому веществу, $кг/м^2 \cdot ч$	Конечная влажность, %	Производительность по сухому веществу, $кг/м^2 \cdot ч$	
Из первичных отстойников	94...95	89...90	10...15	84...87	5...10	30...50
Активный ил	99,3...99,5	95,5...97	8...10	93...95	3...8	20...40

статическим, либо под избыточным давлением до 0,6 МПа. Схема вибрационного фильтра лоткового типа дана на рис. 12.13.

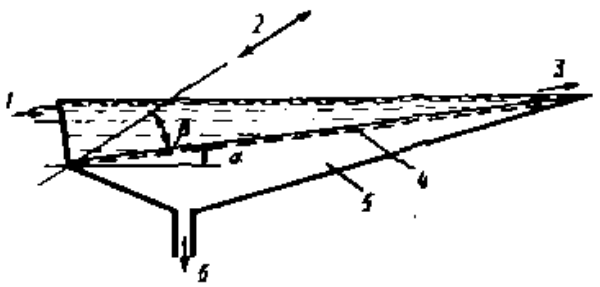


Рис. 12.13. Схема безнапорного виброфильтра лоткового типа:

1 — исходный осадок; 2 — вибратор; 3 — обезвоженный осадок; 4 — фильтровальное полотно; 5 — сборник фильтрата; 6 — фильтрат. Угол α = 4...8°

Для уменьшения потерь твердой фазы с фильтратом разделение осадка на безнапорных биофильтрах (грохотах) проводится в две последовательные стадии (сгущение + обезвоживание).

Технические параметры работы приведены в табл. 12.14.

Характеристика вибрационных грохотов, выпускаемых промышленностью, приведена в табл. 12.15. Грохоты применяют в качестве виброфильтров после замены на них просеивающей поверхности сеткой с размером отверстий 0,1 ... 3 мм.

Таблица 12.15. **Техническая характеристика вибрационных грохотов**

Марка грохота	Условная ширина сита, мм	Длина сита, мм	Число брусов	Мощность двигателя, кВт
ГИЛ 32А	1250	2500	2	2,5
ГИЛ 32	1250	4000	2	4
ГИЛ 42А	1500	3000	2	5
ГИЛ 52	1750	4500	2	10
ГСЛ 41	1500	5000	1	3

Рекомендации по выбору установок механического обезвоживания. При выборе оборудования для механического обезвоживания осадков следует учитывать всю технологическую схему обработки и утилизации осадков, а также работу сооружений по очистке сточных вод (табл. 12.16).

Таблица 12.16. Сопоставление методов механического обезвоживания осадков

Установки и рекомендуемые ситуации их применения	Основные преимущества	Основные недостатки
Вакуум-фильтры При наличии песка в осадке и при необходимости последующей термической сушки	Возможность обработки без выделения песка и распространения запахов, сокращение расхода энергии на термосушку, отсутствие быстроизнашивающихся узлов	Применение минеральных реагентов, вакуум-насосов, периодические замены фильтровальной ткани, повышенный расход электроэнергии
Ленточные фильтр-прессы При сбраживании осадков в термофильных условиях с последующим использованием в качестве удобрения	Отсутствие быстроизнашивающихся деталей и узлов, сокращение расхода электроэнергии, отсутствие необходимости выделения крупных включений и песка из осадков	Возможность распространения запаха, большие габариты по сравнению с центрифугами, большие расходы энергии на термосушку по сравнению с вакуум-фильтрами, необходимость периодической замены фильтровальной ткани
Камерные и рамные фильтр-прессы При предварительной тепловой обработке или последующем сжигании обезвоженного осадка	*Низкая* влажность обезвоженного осадка и энергетические расходы на термосушку и сжигание	*Низкая* удельная производительность, повышенный расход реагентов, периодичность действия, необходимость замены фильтровального полотна
Центрифуги *При компостировании и* использовании осадка в качестве удобрения	Компактность установок, возможность работы без реагентов и с применением флокулянтов	Необходимость извлечения из осадков крупных включений и песка, периодическая замена шнеков, повышенные по сравнению с вакуум-фильтрами энергетические расходы на термосушку
Виброфильтры При обезвоживании труднофильтруемых осадков, при последующем компостировании осадков	Простота конструкции, отсутствие быстроизнашивающихся деталей и узлов	Невысокая степень обезвоживания, значительные потери твердой фазы с фильтратом, низкая удельная производительность

При проектировании механического обезвоживания осадка предусматривают аварийные иловые площадки на 20% годового количества осадка.

12.6. Иловые площадки

Иловые площадки предназначены для естественного обезвоживания осадков. Допускается проектировать площадки на естественном основании с дренажем и без него, на искусственном асфальтобетонном основании с дренажем, каскадные с отстаиванием и поверхностным удалением иловой воды, площадки-уплотнители. Последние два типа рекомендуются при удельном сопротивлении осадка $r > 4000 \cdot 10^{10}$ см/г.

Нагрузки осадка на иловые площадки H_{p}, м^3/м^2, в год в районах с $t_{ср.год}$ воздуха 3 ... 6° С и среднегодовым количеством атмосферных осадков до 500 мм принимают по табл. 12.17.

Таблица 12.17. Нагрузка на иловые площадки в год, м^3/м^2

Характеристика осадка	Тип иловой площадки				
	на естественном основании	на естественном основании с дренажем	на искусственном асфальтобетонном основании с дренажем	каскадные с поверхностным удалением иловой воды	площадки-уплотнители
Сброженная в мезофильных условиях смесь осадка из первичных отстойников и активного ила	1,2	1,5	2,0	1,5	1,5
То же, в термофильных условиях	0,8	1,0	1,5	1,0	1,0
Сброженный осадок из первичных отстойников и осадок из двухъярусных отстойников	2,0	2,3	2,5	2,0	2,3
Аэробно стабилизированная смесь активного ила и осадка из первичных отстойников или стабилизированный активный ил	1,2	1,5	2,0	1,5	1,5

Нагрузки на иловые площадки в других климатических условиях определяются с учетом климатического коэффициента.

Полезная площадь иловых площадок, м^2,

$$A_{п} = 365Q/H_{p}, \qquad (12.16)$$

где Q — объем осадка, м^3/сут. Количество карт принимается не менее четырех. Площадь иловых площадок следует проверять на намо-

раживание. Для намораживания осадка допускается использование 80% площади иловых площадок. Высота ограждающих валиков, м,

$$h=0,1+0,94QT/A_0, \qquad (12.17)$$

где T — продолжительность или период намораживания (количество дней с температурой воздуха ниже — 10° С).

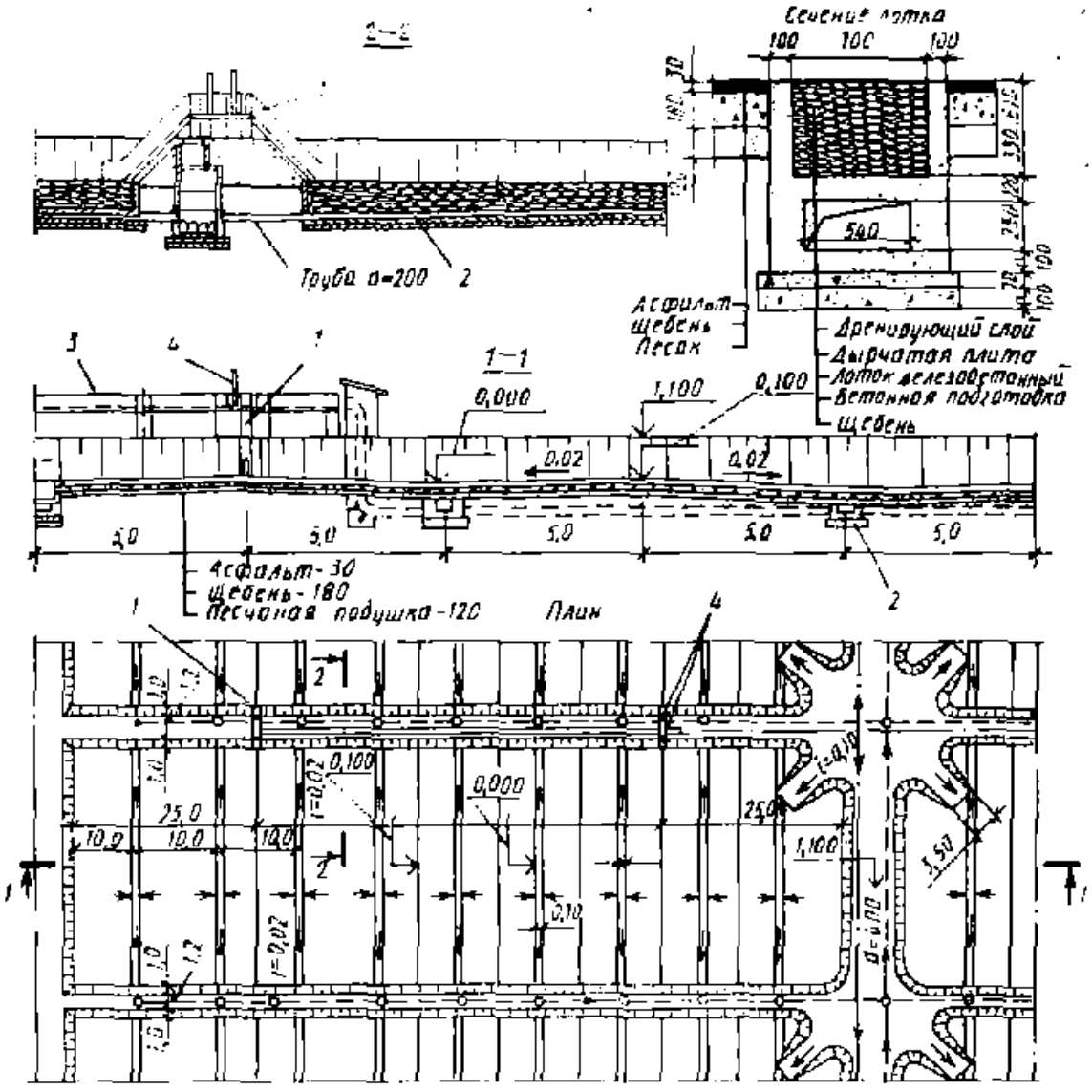


Рис. 12.14. Асфальтированные иловые площадки с дренажными лотками:
1 — сливной лоток (железобетонный); 2 — дренажный лоток (железобетонный); 3 — разводящий лоток (железобетонный); 4 — шибер

Иловые площадки на естественном основании проектируют в фильтрующих грунтах. При глубине залегания грунтовых вод менее 1,5 м от поверхности карты следует предусматривать дренаж.

Ширина карт при двустороннем напуске осадка при влажности осадка 93 ... 95% может составлять 20 ... 25 м, а при влажности 97% — до 100 м.

Иловые площадки с поверхностным удалением иловой воды проектируют в малофильтрующих грунтах для очистных сооружений производительностью более 10 000 м^3/сут. Конструктивно они оформляются в виде каскадов, состоящих из 4 ... 8 карт каждый. Число каскадов 4 ... 7. Ширина карт 30 ... 100 м (при уклонах местности 0,004 ... 0,08), 50 ... 100 м (i = 0,1 ... 0,04), 60 ... 100 м ($i \le 0,01$). Отношение ширины к длине 1:2 ... 1:2,5. Количество иловой воды 30 ... 50% количества обезвоживаемого осадка. Ее загрязнение по взвешенным веществам 1000 ... 2000 мг/л, по $БПК_{полн}$ — 1000 ... 1500 мг/л.

Иловые площадки на асфальтобетонном основании имеют карты шириной 20 ... 30 м и длиной 100 ... 150 м. Вдоль карт на расстоянии 10 м друг от друга располагают дренажные лотки шириной 0,7 ... 1,0 м и глубиной 0,4 ... 0,6 м. Продольный уклон лотков i = 0,02. Конструкция площадок приведена на рис. 12.14.

Иловые площадки-уплотнители проектируются только для хорошо расслаивающихся осадков в виде прямоугольных железобетонных резервуаров глубиной до 2 м с выпуском иловой воды с разных уровней. Ширина карт 9 ... 18 м. Карты имеют пандусы с уклоном до 0,12 для возможности въезда механизмов.

12.7. Сооружения обеззараживания и обезвреживания осадков

Химическое обеззараживание осадков проводится известью, аммиаком, тиазоном, формальдегидом или мочевиной. Одновременно повышается удобрительная ценность осадков.

Необходимая для обработки осадка масса извести, кг,

$$M_и = \frac{1,8 M_{ос}(1 + 0,85 W_{ос}^3)\Delta T}{1152 A - 0,92 \Delta T}, \qquad (12.18)$$

где $M_{ос}$ — масса осадка, кг; $W_{ос}$ — влажность осадка, доли единицы; A — активность извести, доли единицы; ΔT — разность температур — потребной для нагревания осадка и исходной, ^0C.

Требуемая для обеззараживания температура 60^0 С достигается при дозах извести более 30%. Для обеззараживания используется молотая известь, которая смешивается с осадком в двухвальном лопастном смесителе.

Дегельминтизация радиационным термическим нагреванием обезвоженных осадков является наиболее простым способом их обезвреживания. Техинческие данные камеры дегельминтизации приведены в табл. 12.18, а схема — на рис. 12.15.

Таблица 12.18. Технические параметры камеры дегельминтизации типа КДГМ

Показатели	Значение
Производительность по обезвоженному осадку, $м^3/ч$	0,4...0,6
Скорость движения ленты металлического транспортера, м/мин	0,7
Толщина слоя кэка на ленте, мм	10...25
Длина ленты, мм (по осям барабанов)	4500
Ширина, мм:	
ленты	1200
камеры	1600
Давление газа в сети, МПа	0,007...0,024
Расход газа на одну горелку, $м^3/ч$	0,56...1,06
Число горелок ГК-27-У1	24
Высота установки горелок над слоем кэка, мм	100...200
Вид топлива	Природный газ

Теоретическое количество теплоты, максимально потребное на дегельминтизацию 1 $м^3$ осадка, обезвоженного до 80%-ной влажности, при нагреве осадка с 10 до 60° С составляет 560 МДж. Камеры КДГМ рекомендуются для обеззараживания осадков перед использованием их в качестве удобрения на станциях аэрации производительностью до 20 ... 30 тыс. $м^3$/сут сточных вод.

Биотермическая обработка (компостирование) осадков осуществляется под действием аэробных микроорганизмов с целью обеззараживания, стабилизации и подготовки их к утилизации в качестве удобрения.

Для создания пористой структуры осадка требуемой влажности и оптимального соотношения углерода и азота (20 ... 30:1) осадки компостируют совместно с торфом, размолотой древесной корой, листьями, соломой, твердыми бытовыми отходами и т. п.

Наиболее дешевым и простым способом получения компоста как удобрения является способ приготовления его на смеси осадков сточных вод после механического обезвоживания или иловых площадок с верховым торфом в штабелях на площадках с асфальтированным покрытием. Форма штабеля трапециевидная с шириной поверху 2 ... 30 м и высотой 1 ... 3 м (при естественной аэрации) и до 5 м (при принудительной аэрации). В зимнее время компост лучше разогревается при соотношении торфа к осадку как 2:1, а летом и весной — как 1,5:1. Качество компоста улучшается, если к 1 т смеси добавить 15 ... 20 кг извести и 3 кг калия.

Компост приготовляется послойно. Вначале кладут торф слоем 50 см. Выше засыпают слой осадка толщиной, соответствующей принятому соотношению с торфом, сверху — слой торфа. Ком-

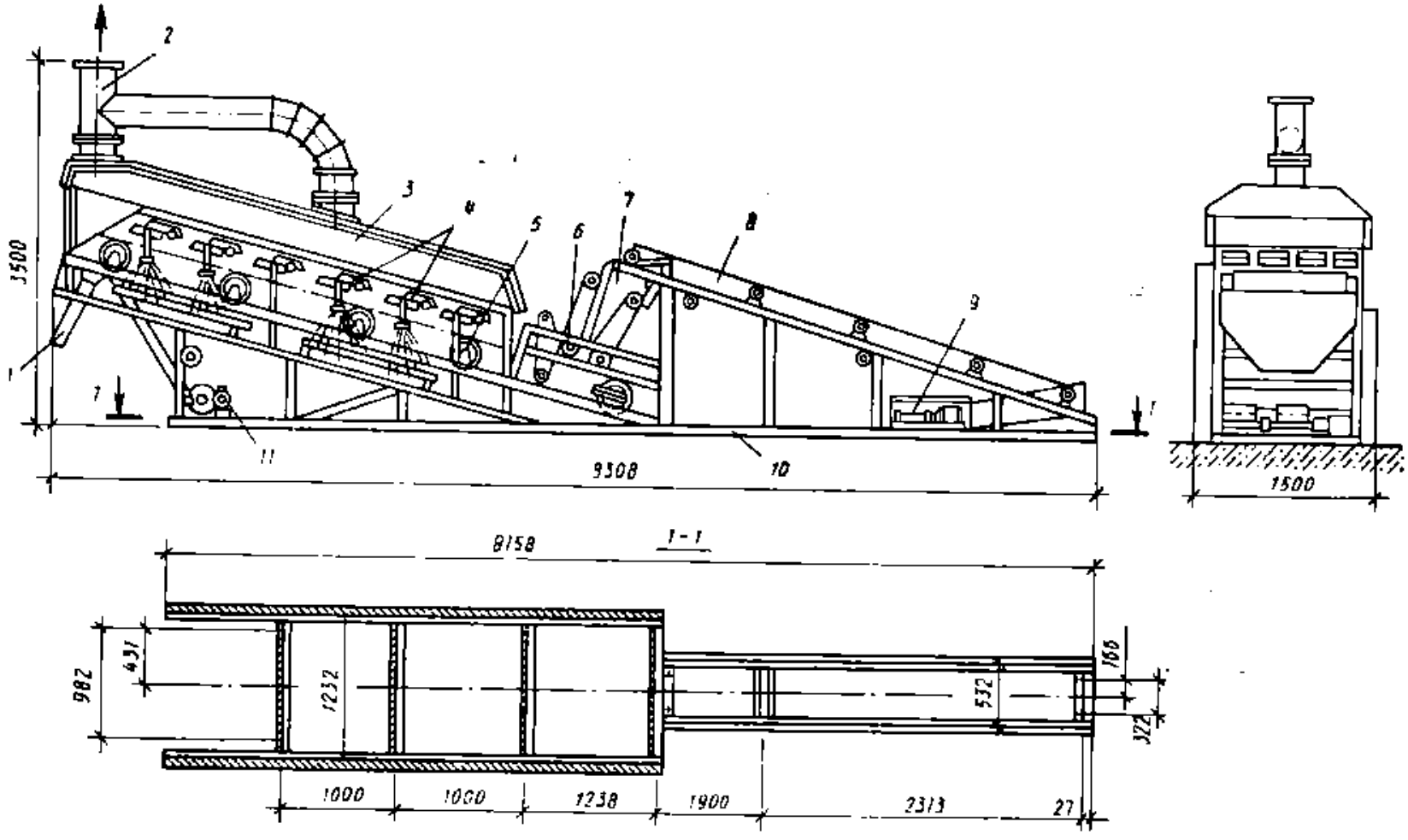


Рис. 12.15. Дегельминтизатор типа КГДМ:

1 — лоток сброса отработанного осадка; *2* — вентиляционные системы; *3* — зонт; *4* — газовые горелки; *5* — ленточный транспортер; *6* — регулировочные валы; *7* — приемный бункер; *8* — транспортер; *9, 11* — электродвигатели; *10* — металлическая рама

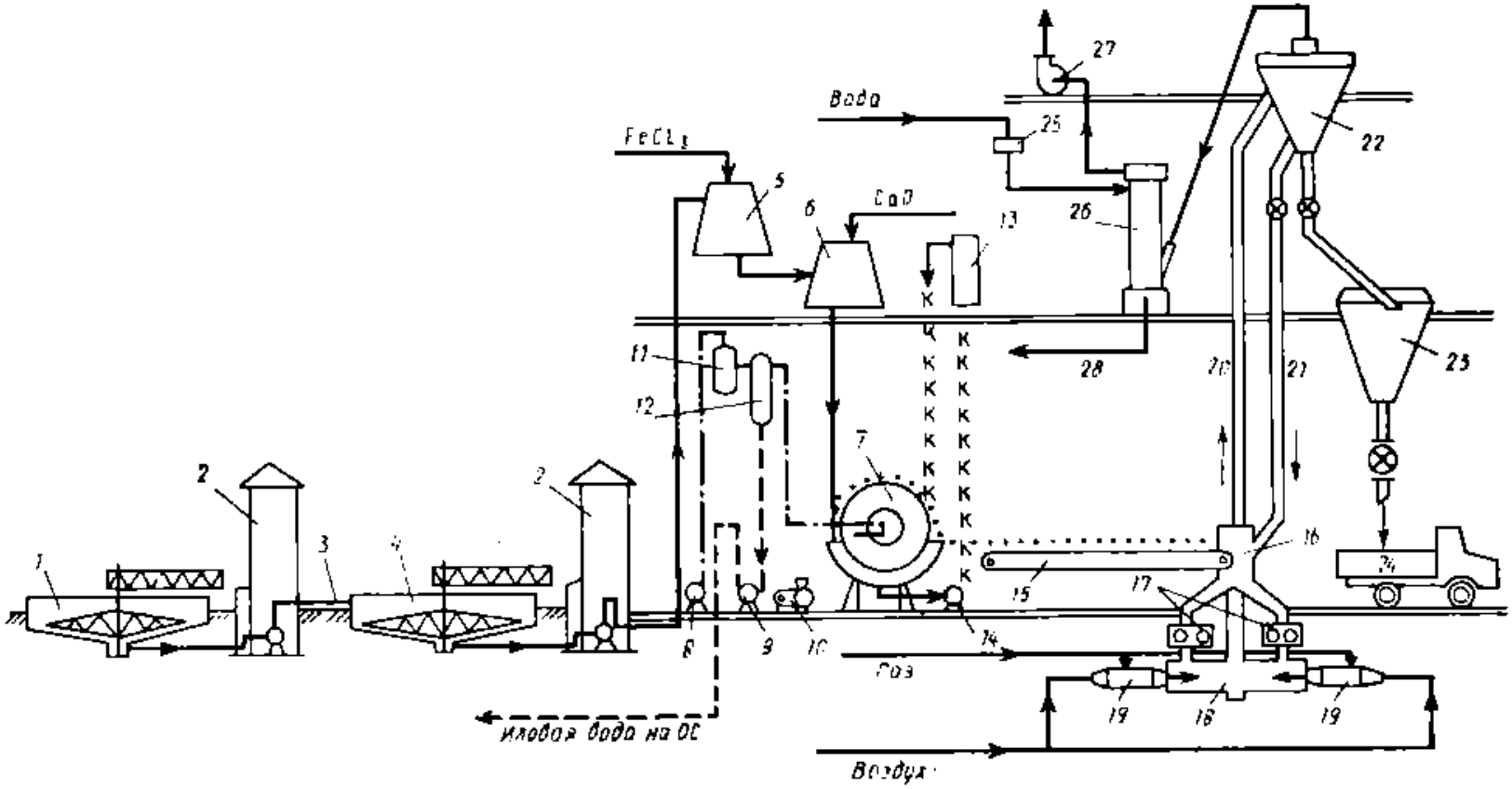


Рис. 12.16. Технологическая схема производства сухого удобрения с применением вакуум-фильтров и установок со встречными струями:

1 — вторичный отстойник; *2* — иловая насосная станция; *3* — подача активного ила в уплотнитель; *4* — илоуплотнитель; *5* — емкость хлорного железа; *6* — емкость для извести; *7* — вакуум-фильтр; *8* — вакуум-насос; *9* — насос для откачки фильтрата; *10* — компрессор; *11, 12* — ресиверы; *13* — емкость для нитробированной солянной кислоты; *14* — насос для промывки фильтрующей ткани кислотой; *15* — транспортер; *16* — приемная камера установки со встречными струями; *17* — двухвальковые шнековые питатели; *18* — сушильная камера с газоходными трубами; *19* — камеры сгорания; *20* — вертикальный стояк; *21* — трубопровод для ретура; *22* — сепаратор воздушно-проводного типа; *23* — продуктовый бункер; *24* — отвозка продукта; *25* — вода для скруббера; *26* — мокрый скруббер; *27* — отсосный вентилятор; *28* — удаление шлама

постируемая масса покрывается безопасным в санитарном отношении материалом, например готовым компостом толщиной слоя не менее 20 см. По контуру площадки устанавливают лотки для сбора поверхностного стока.

При естественной аэрации компост созревает зимой за 3 ... 4 месяца, в весенне-летнее время за 1,5 ... 2 месяца.

При применении аэрируемых штабелей в основании штабеля укладывают перфорированные трубы диаметром 100 ... 200 мм с размером отверстий 8 ... 10 мм. Расход воздуха принимается 10 ... 25 м^3/ч на 1 т органического вещества смеси. Воздух подается воздуходувной установкой или отсасывается вентилятором. Период созревания компоста с аэрацией воздухом составляет 3 ... 4 недели.

На рис. 12.16 дана схема типовых сооружений компостирования осадка с подачей воздуха от воздуходувной станции. Количество

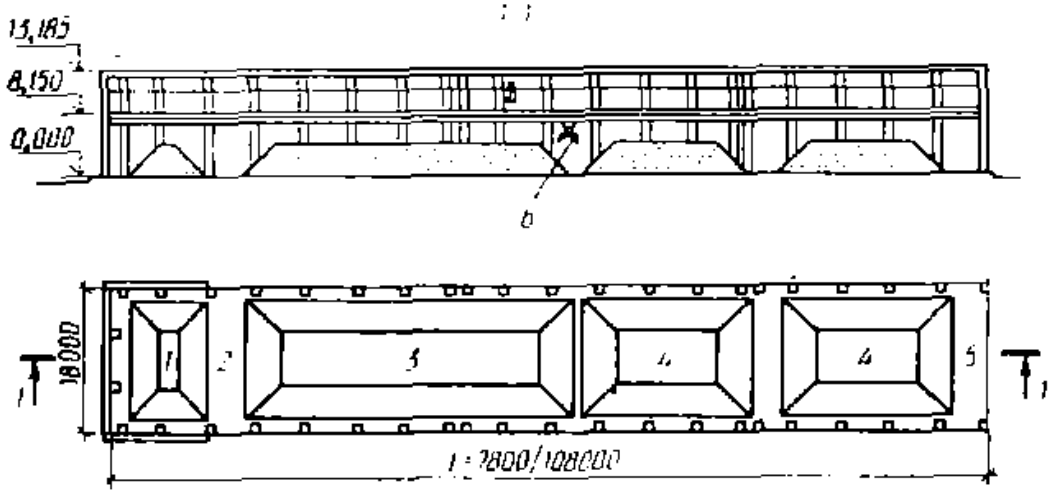


Рис. 12.17. Типовое сооружение компостирования осадка:
1 — закрытая площадка для хранения древесного материала; 2 — площадка для погрузки готового компоста; 3 — площадка дозревания; 4 — площадки компостирования; 5 — площадка смешения осадка с древесным материалом; 6 — кран

обезвоженного осадка по сухому веществу 5 т (L = 78,0 м) или 7 т (L = 108,0 м) в сутки. Смешение и перемещение компоста осуществляются мостовым грейферным краном (5 т) и бульдозерами ДЗ-37 (Д579).

Термическая сушка осадков предназначается для обеззараживания и снижения массы и объема осадков, предварительно обезвоженных механическими методами. Это обеспечивает эффективное удаление осадков с территории очистной станции и их дальнейшую утилизацию в народном хозяйстве.

Термическая сушка производится в барабанных и пневматических сушилках, в установках со встречными струями, в агрегатах витаминной муки, в сушилках с фонтанирующим слоем и т. п.

Технологическая схема сушки осадков с применением установки со встречными струями приведена на рис. 12.17. Промышленностью выпускаются установки СВС-1,4-2,2; СВС-3,5-5; СВС-9-10 производительностью по испаряемой влаге соответственно 1,4 ... 2,2; 3,5 ... 5 и 9 ... 10 т/ч. Корпус термической обработки с двумя агрегатами СВС-3,5-5 имеет размеры в плане 30х12 м и высоту 14,4 м (частично 7,0 м). Основные технические параметры сушилок даны в табл. 12.19.

Термически высушенный осадок представляет собой обеззараженный сыпучий полидисперсный продукт с преобладающим размером частиц 1 ... 7 мм.

Технологическая схема сушки осадков в агрегате витаминной муки (типа АВМ-0,65 Ж) приведена на рис. 12.18. Дымовые газы в топке имеют температуру 400 ... 600° С, на выходе 100 ... 180° С. При частоте вращения барабана 8 ... 15 мин$^{-1}$ производительность

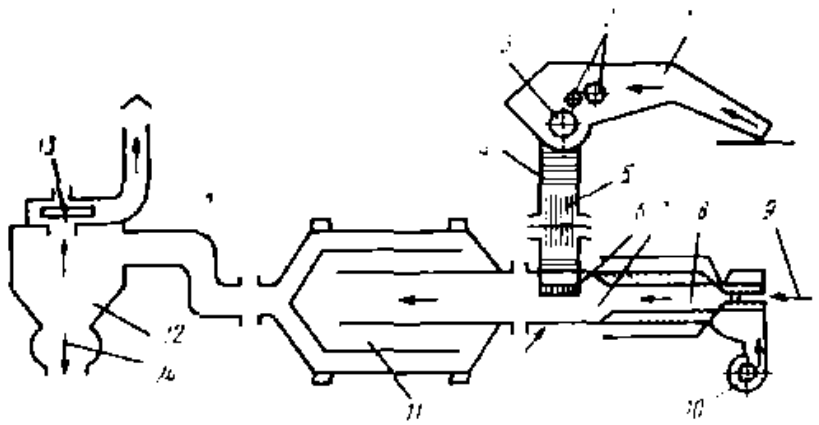


Рис. 12.18. Схема сушки осадков сточных вод в агрегате АВМ-0,65Ж:

1 — подача обезвоженного осадка; 2 — лопастные валы; 3 — шнековой конвейер; 4 — ленточный конвейер; 5 — бетор; 6 — разбрасыватель; 7 — топка; 8 — камера сгорания; 9 — форсунки; 10, 13 — вентиляторы; 11 — сушильный барабан; 12 — циклон; 14 — высушенный осадок

сушилки составляет 600 ... 1200 кг/ч по испаряемой влаге, влажность высушенного осадка 10 ... 20%. Расход электроэнергии составляет 0,02 ... 0,04 кВт · ч, а дизельного топлива 0,11 ... 0,13 кг на 1 кг испаряемой влаги.

Сжигание осадков применяется, если их утилизация невозможна или экономически нецелесообразна. Перед сжиганием необходимо стремиться к максимальному снижению влажности осадков путем их механического обезвоживания. Теплота сгорания горючих веществ, *МДж на 1 кг сухого вещества осадка, для основных видов осадков* городских сточных вод следующая:

Осадок первичных отстойников	19...21
Активный ил	15...19
Сброженный осадок	13...17

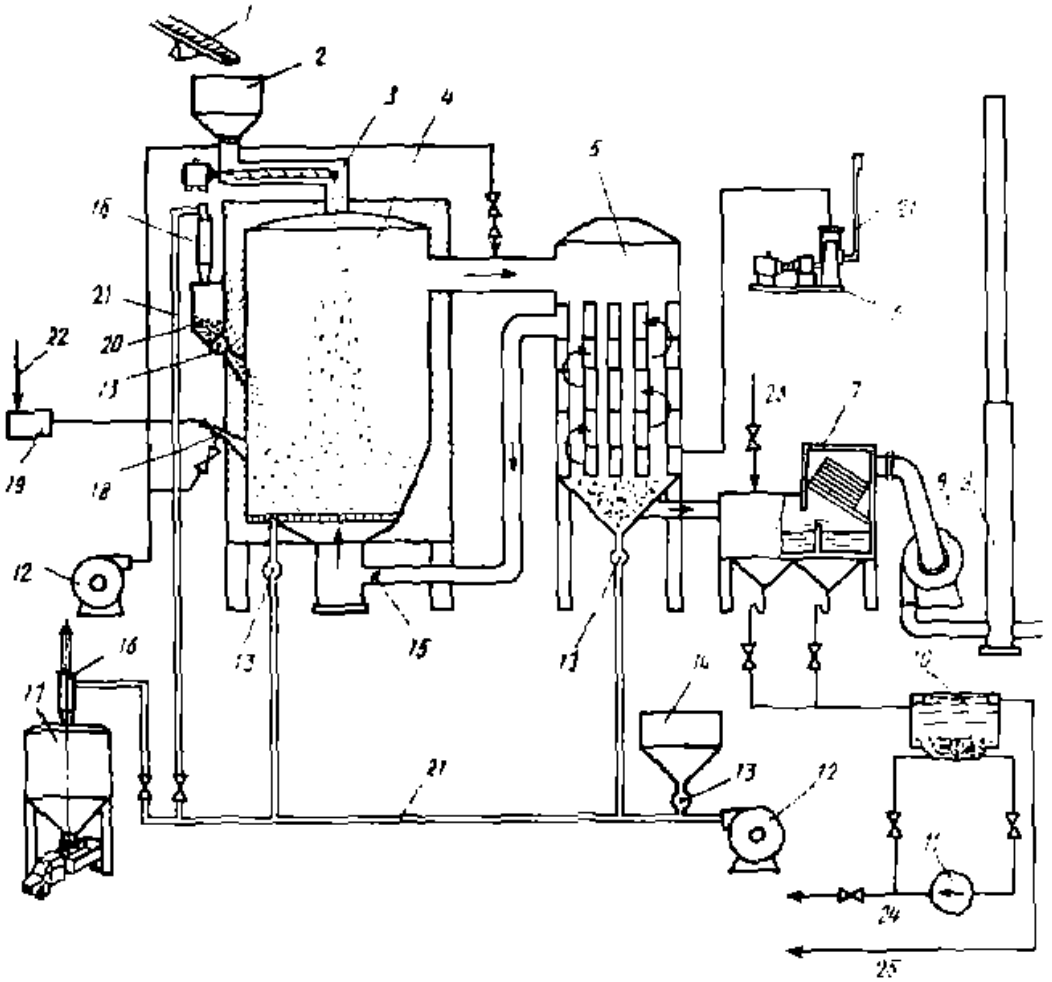


Рис. 12.19. Схема сжигания осадков в печи кипящего слоя:
1 — пластинчатый транспортер; 2 — бункер загрузки осадка; 3 — шнековый питатель; 4 — печь КС; 5 — рекуператор; 6 — воздуходувка; 7 — мокрый пылеуловитель; 8 — дымосос; 9 — дымовая труба; 10 — зольная емкость; 11 — насос перекачки зольной воды; 12 — вентилятор; 13 — шлюзовый питатель; 14 — бункер для песка; 15 — циклоны; 16 — циклонный разгрузитель; 17 — бункер выгрузки золы; 18 — газовая горелка; 19 — газорегуляторная установка; 20 — бункер-дозатор; 21 — воздуховод; 22 — трубопровод топливного газа; 23 — водопровод; 24 — золопровод; 25 — канализационный трубопровод

Таблица 12.19. Техническая характеристика сушилок со встречными струями

Показатель	Значение
Влажность осадков, %:	
до сушки	65...85
после сушки	30...50
Производительность установок по испаряемой влаге, т/ч	0,7...10
Температура сушильного агента, °С	
начальная	500...800
конечная	100...150
Давление воздуха перед соплом, МПа	0,11...0,15
Скорость истечения газов из сопла, м/с	100...400

Продолжение табл. 12.19

Показатель	Значение
Удельные расходы на 1 кг испаряемой влаги теплоты, МДж:	3,4...3,9
условного топлива, кг	0,114...0,128
сухого воздуха, кг	4...5
электроэнергии, кВт·ч	0,02...0,06
Напряжение объема по испаряемой влаге, кг/(м^2·ч)	700...1000

Осадок первичных отстойников	19...21
Активный ил	15...19
Сброженный осадок	13...17

Горению обезвоженных осадков предшествует эндотермический процесс их тепловой подготовки, включающий прогрев материала, испарение влаги и выделение летучих. В качестве топочных устройств для сжигания осадков сточных вод применяют многоподовые печи, печи с кипящим слоем инертного носителя, а также барабанные печи, слоевые и камерные топки.

Процесс сжигания осадков в условиях псевдоожиженного слоя значительно эффективнее, чем в стационарном слое. Схема установки печи кипящего слоя (КС) приведена на рис. 12.19. В качестве инертного материала в кипящем слое применяют кварцевый песок с размером фракций 1 ... 5 мм или фторопласт. Производительность печи по испаряемой влаге составляет 1 ... 2 т/ч. Температура воздуха и газов на входе в печь 600 ... 700° С, в кипящем слое 650 ... 750, в топочной камере над кипящим слоем 900 ... 1000° С. Нагрузка по испаряемой влаге на 1 м^3 объема печи 60 ... 100 кг/ч. Унос золы с отходящими газами 80 ... 100%. Рабочая скорость воздуха, отнесенная к площади решетки, 1,2 ... 2 м/с. Удельный расход тепла 4 ... 4,6 МДж на 1 кг испаряемой влаги, удельный расход электроэнергии 0,04 ... 0,05 кВт·ч на 1 кг испаряемой влаги.

ГЛАВА 13

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТАНЦИЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

13.1. Выбор технологической схемы очистной станции

Методы, применяемые для очистки сточных вод, разделяют на три группы: механические; биологические; физико-химические. Для ликвидации бактериального загрязнения сточных вод применяют их обеззараживание (дезинфекцию).

Для очистки городских сточных вод, точнее сточных вод населенных мест совместно со стоками промпредприятий (прошедших локальную очистку), применяют в основном механическую очистку и биологическую.

Физико-химические методы очистки используют главным образом для доочистки городских сточных вод и очистки промстоков в бессточных системах или на локальных очистных сооружениях с последующим направлением в городскую канализацию.

В табл. 13.1 даны схемы очистки бытовых сточных вод и соответствующие им качества очищенных стоков по основным показателям загрязнений.

Таблица 13.1. Схемы очистки бытовых (городских) сточных вод

Схема очистных сооружений	Концентрация в очищенной воде, мг/л				
	взвешенные вещества	$БПК_5$	ХПК	фосфор	азот
М + Б	20...25	15...20	30...50	7...10	20...30
М + Б + Ф	3...12	3...17	30...50	7...10	20...30
М + Б + ХМ	3...10	3...7	30...50	7...10	20...30
М + Б + ХМ + Ф	3...10	3...7	30...50	0,3...1	20...30
М + Б + ХМ + С	0...1	0...1	5...15	0,05...0,5	20...30
М + Б + ХМ + NH_3 + Ф + С	0...1	0...1	5...15	0,05...0,5	1...10
М + ХБ	20	20	50	2.0	20
М + ХБ + NO_3 + N_2	10	7	20	0,5	3
М + ХБ + NO_3 + N_2 + Ф	2	4	15	0,2	2
М + ХБ + NO_3 + N_2 + Ф + С	1	1	8	0,2	2
М + $БNO_3$	15...20	10...15	50	8...10	20
М + $БNO_3$ + Ф	5...10	5...10	40	8...10	20
М + ХБ + NO_3	10...15	10	40...50	2,0	20
М + ХБ + NO_3 + Ф	2...5	2...5	40	0,5...1,0	20
М + $БNO_3$ + Ф + Ан	2...5	2...5	20	1	1...2
М + ХМ	10...25	50...100	80...180	0,7...1,3	20...30
М + ХМ + Ф	2...4	30...70	50...150	0,2...1,3	20...30
М + ХМ + Ф + С + Ф	2...4	5...10	25...45	0,2...1,3	20...30
М + ХМ + NH_3 + Ф + С	2...4	5...10	25...45	0,2...1,3	1...10
М + ХМ + Ф + $К_м$ + С	5	5	13	0,1...0,2	5

Примечание. М — механическая очистка; Б — полная биологическая очистка в аэротенках или на биофильтрах с вторичными отстойниками (нагрузка на ил 0,4 кг $БПК_5$/кг.сут); $БNO_3$ — полная биологическая очистка с нитрификацией (нагрузка на ил 0,2 ... 0,3 кг $БПК_5$/кг.сут); ХБ — полная биологическая очистка с химическим осаждением (солями алюминия или железа); ХМ — химическое осаждение (обычно известью) в контактных отстойниках; Ф — фильтрация на одно- или многослойных фильтрах; С — сорбция активным углем; NH_3 — отдувка аммиака при высоком pH; NO_3 — аэробная нитрификация; N_2 — денитрификация в реакторе с вторичным отстойником; Ан — селективный обмен анионов NO_3^- и PO_4^{3-}; $К_м$ — селективный обмен катионов.

Выбор метода очистки зависит от необходимой степени очистки, характера загрязнений сточных вод и конкретных местных условий. В отдельных случаях может проектироваться только механическая очистка с обязательной дезинфекцией очищенной воды, в основном же для очистки городских сточных вод применяется биологическая очистка, предопределяющая наличие сооружений по механической очистке. На табл. 13.2 приведены рекомендации по применению отдельных видов основных сооружений механической и биологической очистки сточных вод, а также обработки осадков в зависимости от числа человеко-эквивалентов канализуемого объекта. При этом норма водоотведения составляет 250 ... 300 л/(чел.сут).

13.2. Решение генерального плана очистной станции и схемы высотного расположения сооружений

Площадка очистных сооружений располагается вблизи канализуемого объекта с учетом санитарно-защитной зоны. Очистная станция должна размещаться по отношению к канализуемому объекту вниз по течению реки, а также вниз по направлению господствующих в летнее время ветров.

Требуемая площадь очистной станции может быть определена по табл. 13.3. Коэффициент застройки площадки должен быть не менее 0,6 ... 0,7. Озеленяют 15 ... 20% территории.

Для составления генерального плана по принятой схеме очистных сооружений необходимо иметь план земельного участка, намеченного под очистную станцию, с нанесенными на нем горизонталями. В зависимости от производительности очистной станции и состава очистных сооружений генеральный план составляется в масштабе 1:200, 1:1000, а чаще — в масштабе 1:500.

На генеральный план наносят расположение всех очистных сооружений, подводящих и отводящих открытых лотков, трубопроводов, указывают трассы илопроводов, газопроводов, осушительных каналов, дренажей водопроводов, канализации и электросетей.

Компоновка основных сооружений по очистке сточных вод зависит от способа подачи воды (напорная или самотечная), рельефа местности, конфигурации площадки, гидрогеологических условий. При компоновке сооружений следует предусматривать возможность дальнейшего их расширения в случае увеличения производительности, а также строительство по очередям.

Расстояние между сооружениями решается в зависимости от их назначения, глубины заложения, характера грунтов и способа производства работ.

Таблица 13.2 Области применения сооружений

Сооружения	характеристика	Малые 10^2 — 5 — 10^3
Решетки	С ручной очисткой	
	Механизированные	
Песколовки	Горизонтальные	
	С круговым движением воды	
	Вертикальные	
	Аэрируемые	
Преаэраторы		
Первичные отстойники	Двухъярусные, осветлители	
	Вертикальные	
	Горизонтальные	
	Радиальные	
Биофильтры	Капельные	
	Высоконагружаемые	
	Башенные	
	С пластмассовой загрузкой	
Аэротенки	С продольной аэрацией	
	С отдельной регенерацией ила	
	Классические	
Вторичные отстойники	Горизонтальные	
	Вертикальные	
	Радиальные	
Биологические пруды	Аэрируемые и неаэрируемые	
Обработка осадков		
Илоуплотнители	Гравитационные	
	Флотационные	
Сооружения сбраживания	Двухъярусные отстойники	
	Метантенки	
	Аэробные стабилизаторы	
Сооружения обезвоживания	Иловые площадки	
	Вакуум-фильтры	
	Фильтр-прессы	
	Центрифуги	
Установки термосушки и сжигания	Установки дегельминтизации	
	Установки термосушки	
	Печи сжигания осадков	

10^2 — 5 — 10^3

——— рекомендуемый диапазон применения
– – – применение надлежит обосновать

Сооружения следует располагать как можно компактнее, при этом блокируя прямоугольные в плане сооружения.

Между группами сооружений, которые могут строиться в разное время, принимают расстояние от 10 до 25 м, между однотипными сооружениями в группе — 2 ... 3 м. Размещение газгольдеров, метантенков, котельной, трансформаторной подстанции и всех подсобных помещений должно производиться с соблюдением пожарных разрывов.

Территория метантенков ограждается забором. Расстояние от метантенков и газгольдеров до основных сооружений, автомобильных дорог, высоковольтных линий, подсобных производственных помещений должно быть не менее 20 м. Расстояние от склада хлора до административных помещений должно быть не менее 100 м и до остальных зданий — 50 м.

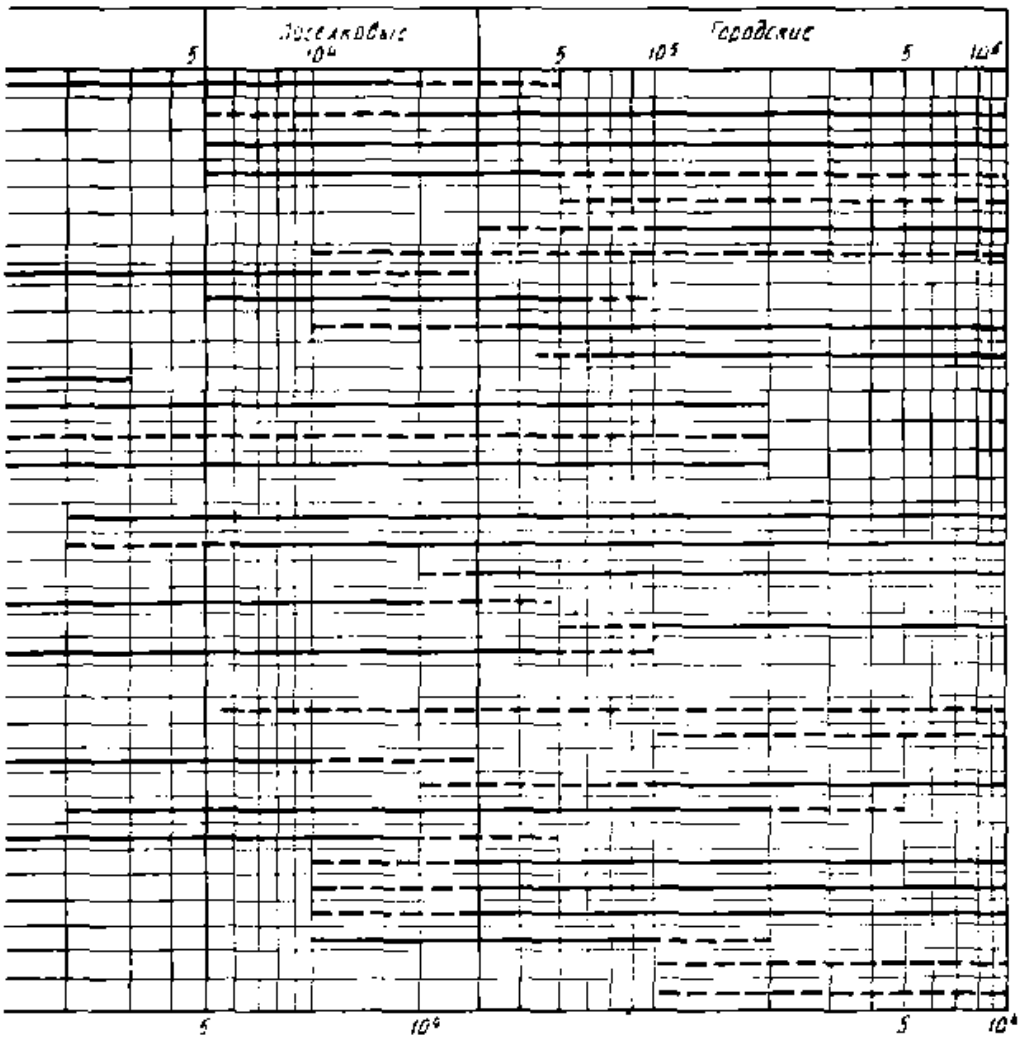


Таблица 11.3. **Примерные площади сооружений канализации**

Сооружения полной биологической очистки	Площадь, га, при пропускной способности сооружений, тыс. $м^3$/сут					
	7...10	17...32	40...64	80...130	160...175	220...280
С горизонтальными отстойниками и механическим обезвоживанием осадка	4,5...6	6...6,5	7...8	8...11	11...14	14...16
С радиальными отстойниками и механическим обезвоживанием осадка	5...7	7...8	8...9	10...14	14...16	17...20

Примечание. В таблице не учтены площади под иловые и песчаные площадки, территории для складирования или компостирования обезвоженного осадка, под сооружения доочистки сточных вод, биологические пруды, установки для сушки и сжигания осадка.

Все здания и сооружения обеспечиваются подъездами и пешеходными дорожками. Ширина проезжих дорог принимается 5,5 м, закругления при сопряжении дорог не менее 8 м. Предельный уклон дорог назначается не более 8%, а для съездов — не менее 0,7 ... 1,0 м. Территория очистной станции должна быть ограждена забором постоянного типа. К площадке очистных сооружений должен быть обеспечен подъем, подведена электроэнергия, питьевой водопровод и линия телефонной связи.

Рекомендуется, по возможности, производить блокировку производственных помещений, например объединяя воздуходувную станцию с иловой насосной станцией, и т. д.

В административно-бытовом здании блокируют: контору, производственно-технический отдел, лабораторию, буфет, красный уголок, прачечную для рабочей одежды, иногда мастерские. Ориентировочные размеры здания в плане при суточной производительности сооружений 10 ... 25 тыс. $м^3$ — 30x12 м, а при производительности 40 ... 100 тыс. $м^3$ — 42x12 м.

На очистной станции должен предусматриваться аварийный коллектор для выпуска сточных вод. Минуя сооружения, он берет начало от колодца-успокоителя, идет вдоль сооружений и присоединяется к выпуску очищенной воды в колодце после контактных резервуаров. Аварийный выпуск может быть решен в двух вариантах: в виде заглубленного коллектора и в виде открытого поверхностного лотка. Выпуск должен обеспечить отвод сточной воды до и после механической очистки, при этом к запломбированным запорным устройствам на аварийном выпуске должен быть обеспечен свободный проход.

Опорожнение сооружений предусматривается насосами с возвращением воды на очистку. Не разрешается производить опорожнение сооружений в аварийный сброс.

В составе станции очистки сточных вод надлежит предусматривать устройства для замера расходов сточных вод, сырого осадка, возвратного и избыточного активного ила, воздуха, пара и газа, а также установку автоматических пробоотборников (см. § 13.3).

На каждой канализационной очистной станции должен быть питьевой водопровод и фекальная канализация.

В схемах с аэротенками канализационные насосы размещаются в насосно-воздуходувной станции. Сточная вода самотеком направляется в приемный резервуар и канализационными насосами по напорному водопроводу перекачивается в колодец-успокоитель. В схемах с биофильтрами обычно проектируется отдельно стоящая канализационная насосная станция или сблокированная с иловой насосной станцией, иногда возможен вариант самотечной подачи хозяйственно-бытовой воды на главную насосную станцию, если она располагается на территории очистных сооружений.

При решении генерального плана необходимо обращать внимание на взаимное размещение отдельных сооружений. Иловые площадки,

например, следует располагать от очистных сооружений со стороны, противоположной городу, поэтому все остальные сооружения, связанные с обработкой ила, следует размещать там же. С той же стороны целесообразно прокладывать основную дорожную магистраль, вдоль нее размещать другие производственные и вспомогательные здания.

Такое решение позволяет иметь свободную территорию с другой стороны очистных сооружений, которая необходима для расширения очистной станции.

В зависимости от размера площадки, отводимой под очистные сооружения, их типа и местных условий могут быть различные варианты компоновок. Пример генплана очистной станции производительностью 100 ... 280 тыс. $м^3$/сут дан на рис. 13.1.

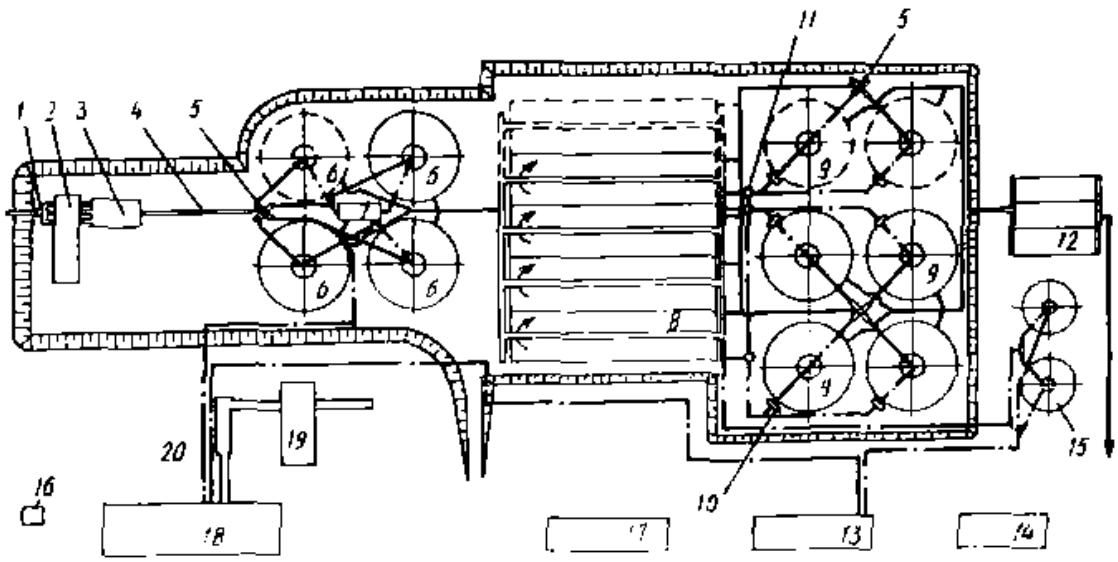


Рис. 13.1. Генплан очистных сооружений пропускной способностью 100...280 тыс. $м^3$/сут:
1 — приемная камера; 2 — здание решеток; 3 — аэрируемые песколовки; 4 — лотки Паршалля; 5 — распределительная чаша; 6 — первичные радиальные отстойники; 7 — насосная станция сырого осадка; 8 — коридоры с рассредоточенным впуском сточных вод; 9 — радиальные вторичные отстойники; 10 — вантовая камера; 11 — камера эрлифтов; 12 — контактные резервуары; 13 — насосно-воздуходувная станция; 14 — хлораторная; 15 — осадкоуплотнители; 16 — бункера песка; 17 — блок производственных и бытовых помещений; 18 — корпус обезвоживания осадка с вакуум-фильтрами; 19 — корпус сушки осадка; 20 — площадка промежуточного складирования обезвоженного осадка

При решении генерального плана следует иметь в виду, что взаимное расположение сооружений должно обеспечивать возможность строительства по очередям, возможность дальнейшего расширения, минимальную протяженность коммуникаций и доступность для ремонта и обслуживания.

Высотная схема расположения очистных сооружений решается исходя из двух положений: самотечного движения очищаемой жидкости по сооружениям и баланса земляных работ, чтобы по возможности объем вынутого грунта равнялся объему насыпей.

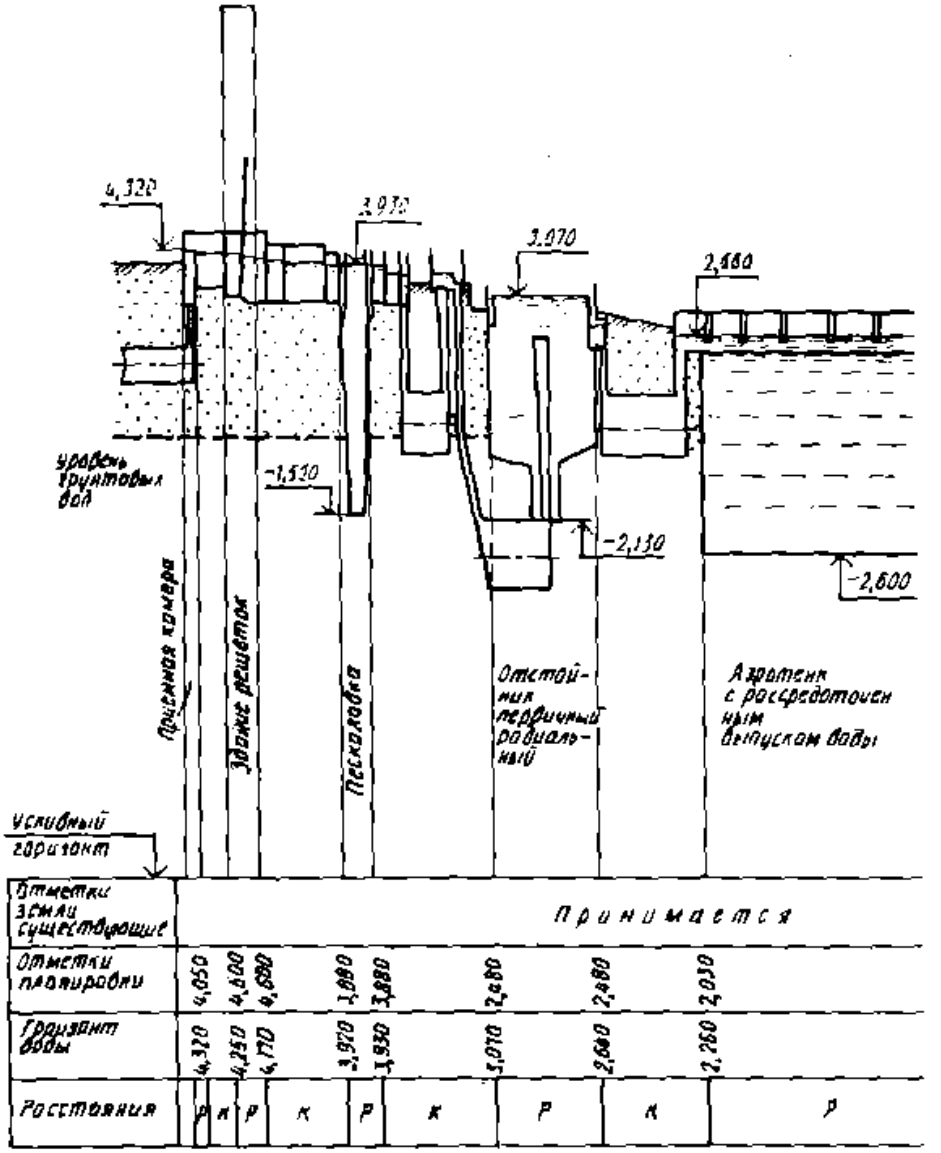
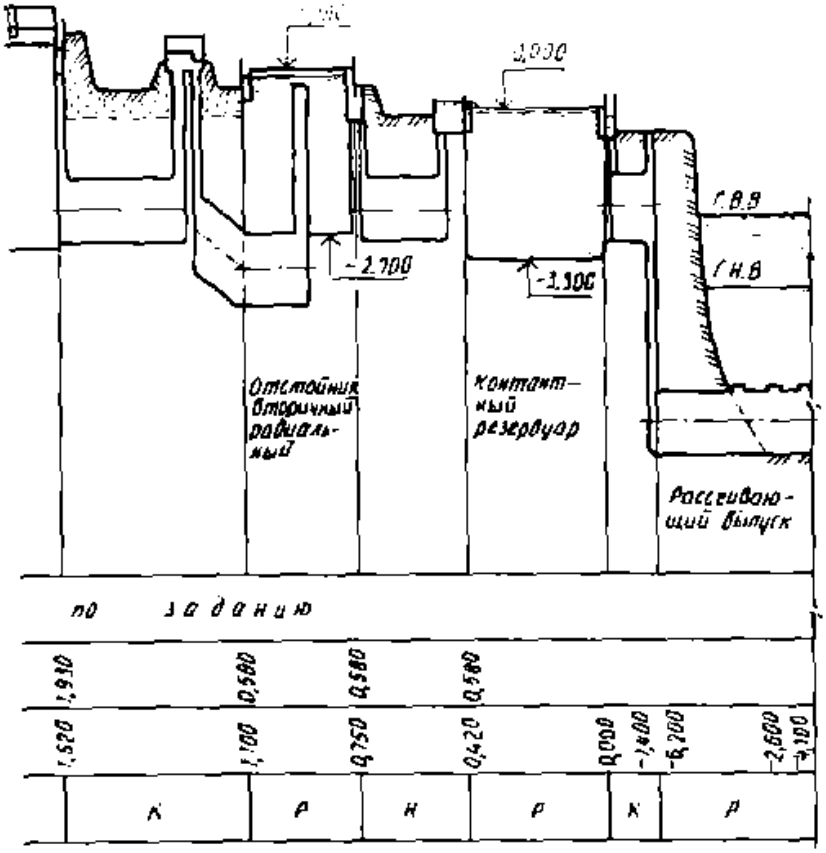


Рис. 13.2. Профиль по движению воды

Для уменьшения объема земляных работ очистные сооружения лучше располагать частично в насыпном грунте (на $^1/_3 \ldots ^1/_2$ высоты). При этом насыпи должны иметь крутизну откосов 1:1 с последующим одернением.

Для самотечного движения сточной воды по сооружениям необходимо, чтобы отметка поверхности воды в колодце-успокоителе перед решетками превышала отметку воды на выходе из контактных резервуаров на величину всех потерь напора по пути движения воды по сооружениям и коммуникациям.



Продолжение рис. 13.2

Таблица 13.4. **Ориентировочные потери напора в сооружениях**

Наименование сооружений	Потери напора, м	Наименование сооружений	Потери напора, м
Колодцы-успокоители	0,05...0,1	Осветлители-перегниватели	0,8...0,9
Решетки	0,1...0,25	Двухъярусные отстойники	0,25...0,3
Решетки-дробилки	0,07...0,15	Биофильтры со сприкклерным оросителем	H + 2,5*
Песколовки горизонтальные	0,35...0,40	Биофильтры с реактивным оросителем	H + 1,5*
Песколовки с круговым движением воды	0,3...0,35	Аэротенки	0,5...0,8
Преаэраторы	0,2...0,25	Аэротенки-отстойники	0,5...0,8
Распределительные чаши отстойников	0,3...0,4	Барабанные сетки	0,2...0,3
Отстойники:		Фильтры песчаные	H + 2,0*
вертикальные	0,4...0,5	Контактные резервуары	0,35...0,4
горизонтальные	0,35...0,4	Смеситель-лоток Паршалля	0,1...0,2
радиальные	0,4...0,55		

* *H* — высота загрузки фильтра.

При выборе отметки воды в головных сооружениях необходимо учитывать наивысший горизонт воды в водоеме, в который спускается очищенная вода. Уровень воды в водоеме не должен создавать подпора в канале (трубопроводе) очищенной воды при выпуске ее в водоем, для обеспечения свободного истечения воды из оголовка выпуска в водоем необходим запас напора не менее 1 ... 1,5 м.

Потери напора складываются из потерь на трение по трубам, лоткам, сооружениям, из местных потерь при изливе воды через водосливы и отверстия на входах в каналы, лотки и в контрольно-измерительных устройствах.

Кроме того, предусматривается некоторый запас напора с расчетом на будущее расширение очистной станции.

Для предварительных расчетов можно пользоваться данными табл. 13.4, в которой дается разница отметок уровня воды перед и за сооружениями, включая гидравлические потери напора в них (без учета потерь в коммуникациях). Высотное расположение сооружений оформляется графически в виде профилей по пути движения воды (рис. 13.2) и по пути движения ила (рис. 13.3).

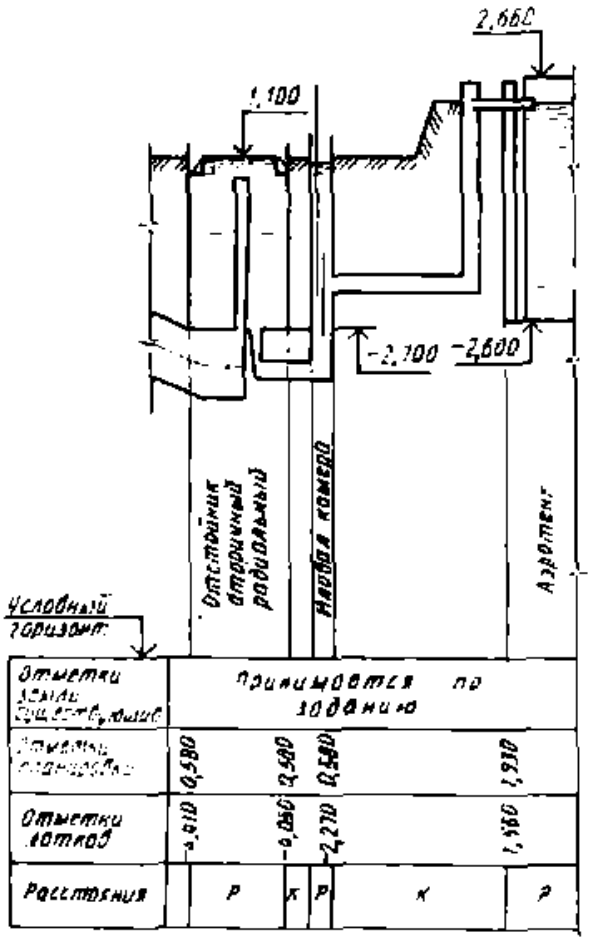


Рис. 13.3. Профиль по движению возвратного активного ила:
Р — расчетный размер; К — конструктивно принимаемый

Профили строят в двух измерениях: вертикальный масштаб принимают 1:100 и горизонтальный 1:500 или 1:1000.

Профиль «по воде» выполняют по самому длинному пути от подводящего канала до выпуска в водоем.

Трасса пути отмечается буквами или цифрами на генплане и на профиле, причем расчетные точки ставят в местах изменения расчетных расходов.

Профили «по илу» строят для всех видов осадка.

13.3. Лотки, трубопроводы, водораспределительные и водоизмерительные устройства

Для приема на очистные сооружения сточных вод из напорного трубопровода устраивают приемную камеру (колодец-успокоитель). Иногда она устанавливается на опору из сборных железобетонных колец (рис. 13.4). Размеры приемной камеры зависят от пропускной способности очистных сооружений (табл. 13.5).

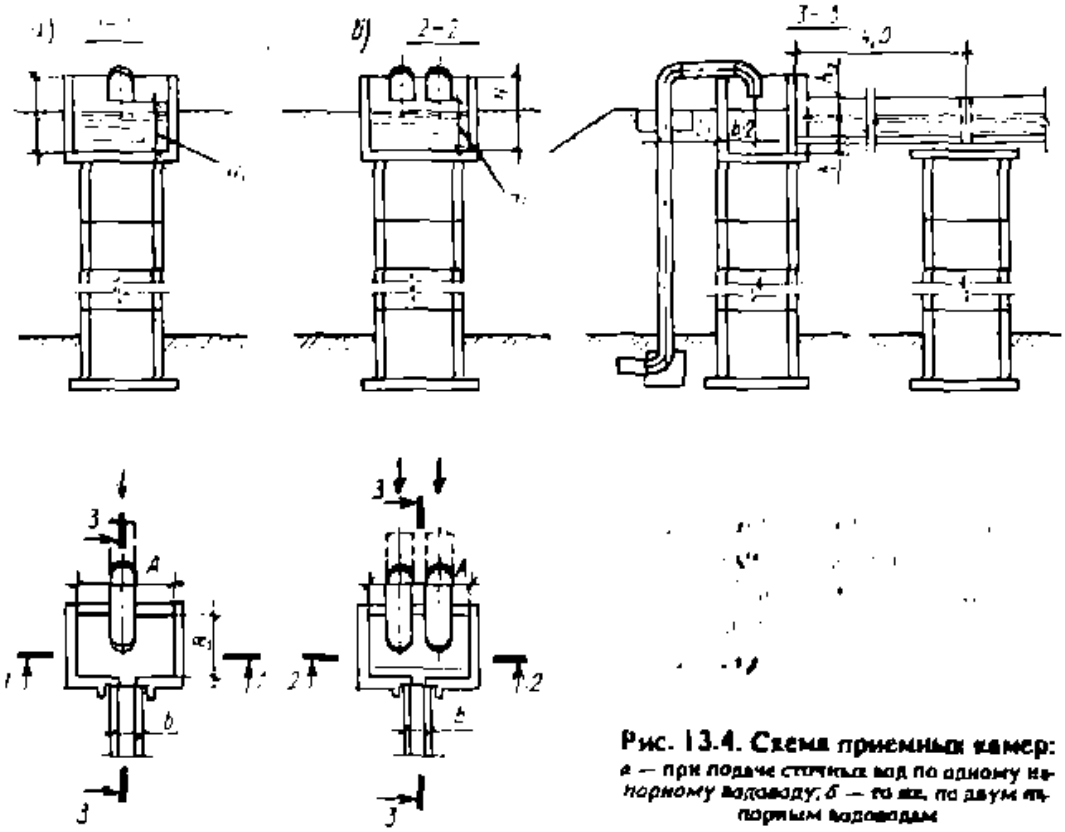


Рис. 13.4. Схема приемных камер:
а — при подаче сточных вод по одному напорному водоводу; б — то же, по двум напорным водоводам

Сточные воды на очистных сооружениях движутся по открытым лоткам и каналам. Вода к некоторым сооружениям (например, к радиальным отстойникам, аэротенкам, биофильтрам) подводится дюкерными трубопроводами. Гидравлический расчет коммуникаций и водораспределительных устройств проводится на пропуск максимального секундного расхода сточных вод с коэффициентом 1,4.

Скорости потока по лоткам и трубам, м/с, принимаются в зависимости от характера сточной жидкости в следующих пределах:

Для неочищенной воды	0,9...1,0
Для воды, прошедшей песколовку	0,75...1,0
Для очищенной воды	0,5...1,0
Для осветленной воды	0,6...1,0

Таблица 13.5. **Размеры приемных камер**

Расход сточных вод, $м^3/ч$	Размер, мм									Диаметр напорного трубопровода, мм, при подаче стоков	
	A	B	H	H_1	h	h_1	b	l	l_1	по одной нитке	по двум ниткам
100...160	1500	1000	1300	1000	400	400	250	600	800	150...250	150
250	1500	1000	1300	1000	400	500	350	600	800	250	150
400...630	1500	1000	1300	1000	400	650	500	600	800	400	250
1000...1250	2000	2300	2000	1600	750	750	600	1000	1200	600	250
1600...2000	2000	2300	2000	1600	750	900	800	1000	1200	700	400

Минимальную расчетную скорость движения осветленных или биологически очищенных сточных вод в лотках и трубах допускается принимать 0,4 м/с. Наименьший диаметр труб (ширина лотков) 150 ... 200 мм.

Наименьшие расчетные скорости движения сырых и сброженных осадков, а также уплотненного активного ила в напорных илопроводах следует принимать по табл. 13.6. Наименьший диаметр напорных илопроводов 150 мм.

Таблица 13.6. **Минимальные расчетные скорости в илопроводах**

Влажность осадка, %	v_{min}, м/с, при		Влажность осадка, %	v_{min}, м/с, при	
	D = 150...400	D = 250...400		D = 150...200	D = 250...400
98	0,8	0,9	93	1,3	1,4
97	0,9	1,0	92	1,4	1,5
96	1,0	1,1	91	1,7	1,8
95	1,2	1,3	90	1,9	2,1
94	1,2	1,3			

При проектировании самотечных лотков и каналов следует придерживаться следующих рекомендаций:

1. На подводящих участках скорости должны по возможности оставаться постоянными или же уменьшаться по мере уменьшения расхода.

Наполнение лотков должно быть более или менее постоянным. Сечения каналов должны изменяться сокращением их ширины. Днища каналов не должны иметь порогов.

2. На отводящих участках скорости по течению воды должны нарастать или оставаться постоянными. По мере увеличения расходов

воды сечения каналов увеличиваются как по глубине, так и по ширине.

3. Соотношение глубины протока к его ширине в самотечных лотках и каналах следует принимать 0,5 ... 0,75.

4. В проводящих и отводящих лотках не следует допускать перепадов в горизонтах воды, за исключением небольших понижений, определяющихся потерями на местные сопротивления.

Для самотечных лотков и каналов уклоны принимают в пределах 0,002 ... 0,001; могут быть и отклонения, если позволит скорость.

Линейные потери напора (уклоны), наполнения и скорости в трубах и лотках находят по таблицам гидравлического расчета канализационных сетей.

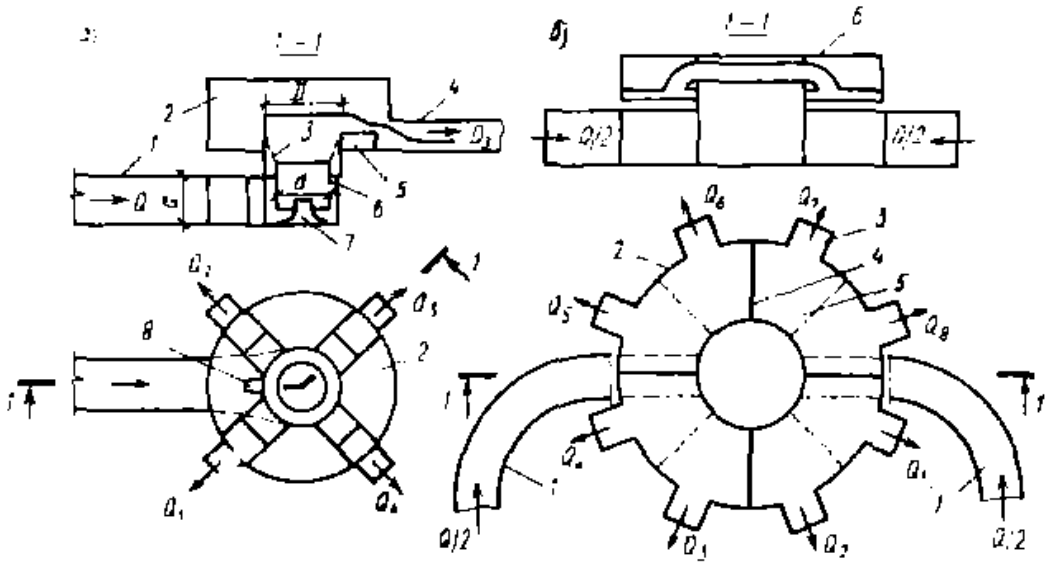


Рис. 13.5. Схемы распределительных чаш:

а — с односторонним подводом воды: 1 — подводящий трубопровод; 2 — распределительная чаша; 3 — воронка растекания; 4 — отводные трубы, 5 — водослив; 6 — внутренняя цилиндрическая труба; 7 — конусообразная направляющая вставка; б — с двусторонним подводом воды и кольцевым водосливом: 1 — подводящие трубопроводы; 2 — кольцевой водослив с тонкой стенкой, 3 — отводные трубы; 4 — вертикальные перегородки; 5 — кольцевой отсек; 6 — сменные элементы чаши

Местные сопротивления создаются в ответвлениях, боковых присоединениях, переходах, при входе воды из трубы в резервуар, при выпуске воды из резервуара в трубу, в местах поворота, на водосливах и т. п.

Деление потока может осуществляться разветвлением лотка (канала), распределительными чашами и камерами, распределительными каналами с малыми скоростями протока воды.

Деление потока на две части достаточно надежно достигается при устройстве Т- или U-образной развилки с соблюдением полной симметричности веток. Последовательное деление потока таким способом на большее число ответвлений требует большой площади.

Более точным является деление потока в распределительных чашах на 4, 6, 8 частей водосливами (с широким порогом или с тонкой стенкой), установленными на одинаковых отметках. Схемы распределительных чаш приведены на рис. 13.5. В чаше с односторонним подводом (схема *а*) высота кольцевого отверстия под центральной трубой принимается равной $(0{,}25 \ldots 0{,}5)d$, соотношение D/d не менее 1,5.

Расход воды, м^3/с, через незатопленные водосливы с прямоугольной формой отверстия

$$Q = \mu\varepsilon b\sqrt{2g}h^{3/2}, \qquad (13.1)$$

где μ — коэффициент расхода водослива; ε — коэффициент, учитывающий сжатие потока; b — ширина водослива, м; g — 9,81 м/с^2; h — напор над гребнем водослива, м.

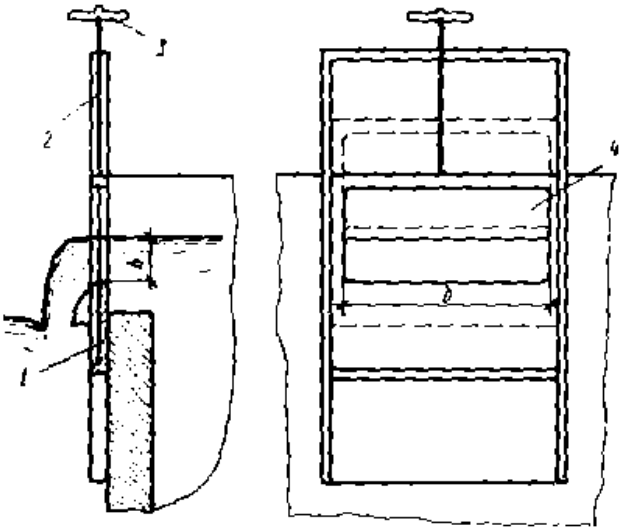


Рис. 13.6. Схема подвижного водослива:
1 — щит затвора; 2 — рама затвора; 3 — штурвал; 4 — вырез в щите (пунктиром показан затвор в положении «закрыто»)

Значение $\mu\varepsilon$ для водослива с широким порогом составляет 0,327 ... 0,332, а для водослива с тонкой стенкой 0,603 ... 0,606.

Для регулирования подачи воды на отдельные сооружения или группы сооружений возможно применение камер, в которых устанавливают подвижные водосливы с тонкой стенкой, выполняемые в виде щитовых затворов с вырезами (рис. 13.6).

Надежное распределение сточной воды обеспечивается каналами большого поперечного сечения, скорость потока в которых близка к нулю и соответственно отсутствует кривая спада по длине. Такие каналы применяют при распределении сточных вод по группам сооружений коридорного типа (горизонтальные отстойники, аэротенки). В каналах во избежание выпадения осадка предусматривают аэрацию через перфорированную трубу, укладываемую на дне лотка около боковой стенки. Интенсивность аэрации 2 ... 2,5 м^3/м^2 поверхности лотка в 1 ч.

На выходящих лотках всех распределительных устройств предусматривают затворы или шандорные пазы для щитов, с помощью которых можно отключать отдельные сооружения.

Водомерные устройства. На очистных сооружениях измеряют расходы сточных вод, иловой смеси, осадков, растворов реагентов, воздуха. Необходимо предусматривать возможность измерения как общих, так и местных расходов по секциям и отдельным сооружениям. Измерители общего расхода сточных вод целесообразно располагать между песколовками и первичными отстойниками или после контактных резервуаров.

Таблица 13.7. Технические данные расходомеров ИР-61

Диаметр трубы (датчика), мм	Скорость потока в трубе, м/с					
	1,25	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0
	Максимальный измеряемый расход, $м^3/ч$					
150	80	100	125	160	200	250
200	125	160	200	250	320	400
300	320	400	500	600	800	1000

Для измерения расходов жидкостей в напорных трубопроводах применяют трубы Вентури с конической входной частью (при концентрации взвеси более 1000 мг/л) или снабженные соплом Вентури (при меньшей концентрации взвеси). Для любых сточных вод и осадков могут использоваться также индукционные расходомеры ИР-61. Данные для подбора индукционных расходомеров приведены в табл. 13.7.

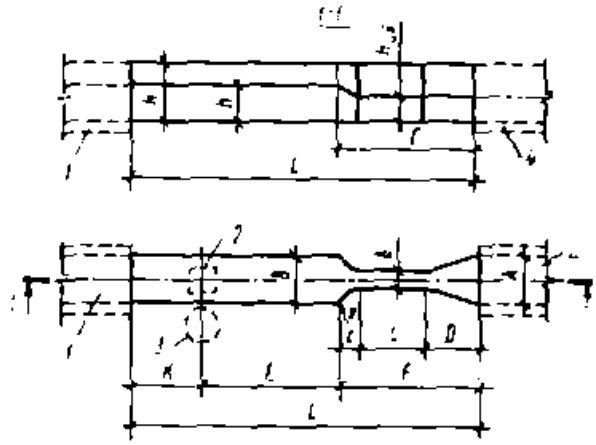


Рис. 13.7. Водоизмерительный лоток Вентури: 1 — подводящий канал; 2 — шкаф КИП (для варианта I); 3 — колодец КИП (для варианта II); 4 — отводящий канал

Для измерения расходов сточных вод в открытых лотках предусматривают лотки Вентури, измерительные водосливы или лотки Паршаля. Схема лотка Вентури приведена на рис. 13.7, а размеры типовых лотков — в табл. 13.8.

Схема лотка Паршаля, используемого также в качестве смесительного устройства, приведена на рис. 11.13, а размеры в табл. 11.12.

Таблица 13.8. Типовые лотки Вентури

Типоразмер	Q_{max}, м³/ч	Размер, мм											
		B	*b*	*H*	*E*	*C*	*I*	*D*	*R*	*F*	*K*	*L*	*A*
1	100	200	122	300	800	105	400	235	740	160	560	2100	200
2	320	300	192	600	1200	140	600	320	1060	220	640	2900	300
3	500	450	296	600	1200	205	600	455	1260	310	640	3100	450
4	1250	600	377	900	2000	295	1000	655	1960	450	1040	5000	600
5	4000	900	596	1200	3000	400	1500	600	2500	600	1000	6500	800
6	5000	1200	752	1200	3000	590	1500	900	2990	890	1010	7000	1050
7	8000	1800	1180	1200	3000	820	1500	1260	3580	1240	1020	7600	1600
8	10 000	2400	1500	1200	3000	1190	1500	1800	4490	1800	1010	8500	2100
9	20 000	2400	1500	1800	4800	1190	2400	1800	5390	1800	1610	11 800	2100

Примечание. *h* — уровень воды в контрольном сечении лотка; $h_{нб}$ — уровень воды в нижнем бьефе.

ГЛАВА 14

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ СТАНЦИЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Системы очистки сточных вод — это сложный комплекс инженерных сооружений, функционально взаимосвязанных технологическими процессами сбора, транспортировки, очистки и обеззараживания сточных вод, основанный на применении физико-механических и физико-химических методов выделения грубодисперсных и взвешенных частиц, биохимических методах аэробного окисления растворенных и коллоидных веществ и методов обработки и обезвреживания осадков. Эффективность работы очистных сооружений зависит в значительной степени от уровня эксплуатации и оценивается путем сопоставления проектных показателей степени очистки сточных вод с фактическими.

14.1. Сооружения механической очистки сточных вод

Решетки. Эффективность работы решеток может быть оценена на основании данных о соотношении количества загрязнений, задерживаемых установленными последовательно решетками с различным размером прозоров. В результате натурных наблюдений установлено наличие следующей зависимости

$$M_2/M_1 = f(h_2/b_1), \qquad (14.1)$$

где M_1 и M_2 — количество загрязнений, задержанных соответственно первой и второй решетками; b_1 и b_2 — ширина прозоров между стержнями соответственно первой и второй решеток.

Данные об эффективности работы решеток приведены ниже

M_2/M_1	1	0,85	0,75	0,65	0,45	0,2
b_2/b_1	0,5	0,625	0,75	0,875	1	1,125

На основании опыта эксплуатации московских станций аэрации (Яковлев С. В., Калицун В. И.) можно сделать следующие выводы:

последовательная установка двух решеток с прозорами одинакового размера (двухступенчатые решетки) обеспечивает задержание отбросов в 1,5 раза больше, чем при одноступенчатой установке;

двухступенчатая установка решеток, из которых первая имеет прозоры 20 мм, а вторая 10 мм, обеспечивает задержание отбросов в 2 раза больше, чем одна решетка с прозорами 20 мм;

установка одной решетки с шириной прозоров между стержней 16 мм обеспечивает задержание не более 50% всех отбросов, содержащихся в воде.

Количество песка, выносимое из песколовок вместе с крупными загрязнениями достигает 25% его общего количества. Определение количества задержанных решетками отбросов и анализ их качественного состава, включая зольность, выполняется не реже 1 раза в квартал.

Песколовки. Песок из песколовок удаляют периодически и как правило крупными порциями. Поэтому в периоды между чистками он заполняет не только осадочные бункера, но и частично проточную часть песколовок, что нарушает их работу. Лучшие условия работы песколовок достигаются при частой выгрузке песка небольшими порциями или его непрерывной выгрузке, когда объемы накапливающегося осадка минимальны. Более эффективное задержание песка в песколовках происходит в тех случаях, когда проточная часть сооружений отделена от осадочной части перфорированным колосниковым устройством. Однако в этом случае песок перед обезвоживанием на песковых площадках или бункерах должен быть отмыт от иловых включений, способствующих загниванию осадка.

Технологическая эффективность работы песколовок определяется количеством задержанного песка, а также содержанием в песке частиц фракциями 0,25 мм и более, зольности песка (осадка песколовок), наличием песка в осадке первичных отстойников.

При технологически эффективной работе песколовок процент задержания песка фракциями 0,25 мм и более должен составлять не менее 70%, зольность песка — не менее 70%, а содержание песка в осадке первичных отстойников не должно превышать 8%.

В случае перегрузки песколовок большим количеством поступающей воды эффективность задержания песка фракциями 0,25 мм и более горизонтальной песколовки определяется по формуле

$$Э = \varphi(u_0/f) \qquad (14.2)$$

где $f = H_p/T$ — гидравлическая поверхностная нагрузка, мм/с; H_p — рабочая глубина песколовки, мм; $T = L/v$ — время пребывания, с; L — длина песколовки, м; $v = q/\omega$ — скорость движения сточных вод, м/с; q — расход сточных вод, $м^3/с$; ω — площадь живого сечения песколовки, $м^2$; u_0 — гидравлическая крупность песка, мм/с

Значения U_0 для частиц песка размером 0,25 мм и более приведены ниже

Размер частиц песка, мм	0,41...0,8	0,31...0,4	0,21...0,3
Гидравлическая крупность u_0, мм/с	65	37	26

Гидравлическая нагрузка на поверхность песколовки, связанная с колебаниями притока сточных вод, оказывает значительное влияние на эффект задержания песка.

Э, %	70	88	92	95	97	99
u_0/f	1	2	3	4	5	6

Технологически эффективно работающими песколовками считаются те, у которых процент задержания песка меньше рассчитанного по данной методике не более чем на 10%.

Первичные отстойники предназначены для уменьшения концентрации нерастворимых загрязняющих веществ сточных вод, способных в зависимости от удельного веса оседать под действием силы тяжести или всплывать (взвешенные вещества). Технологическую эффективность работы первичных отстойников следует оценивать по отношению концентрации взвешенных и оседающих веществ в поступающей и выходящей (осветленной) воде (эффект осаждения), по абсолютной концентрации указанных веществ в осветленной воде, а также по количеству и влажности задерживаемого осадка.

Эффект осаждения в первичных отстойниках зависит в основном от исходных концентраций взвешенных и оседающих веществ, их соотношения, времени отстаивания, температуры сточных вод, конструктивных особенностей сооружения. Эффект осаждения взвешенных веществ в зависимости от времени отстаивания следует определять по табл. 14.1.

Увеличение эффекта осветления с увеличением глубины проточной части отстойников, характерное для городских сточных вод, является следствием агломерации взвешенных веществ в процессе их осаждения. Агломерация полидисперсных взвешенных веществ, их укрупнение и увеличение скорости осаждения играет заметную

роль в работе гравитационных отстойников. Основной причиной агломерации частиц является гравитационная или ортокинетическая коагуляция — столкновение и слипание частиц под действием электростатических сил в результате различной скорости осаждения частиц различной крупности.

Таблица 14.1. Зависимость эффекта осаждения (Э, %) от времени пребывания (Т, ч) и исходной концентрации взвешенных веществ ($C_в$, мг/л) при равномерном притоке сточных вод

$C_в$, мг/л	Эффект осаждения, Э, %, при времени, ч					
	0,5	1	1,5	2	2,5	3
75	25	30	35	40	43	45
100	27	34	38	43	45	46
125	30	38	42	46	47	48
150	33	42	47	50	51	52
200	36	46	52	55	56	57
300	40	50	57	60	61	62
400	44	55	62	65	66	67

Примечание. Эффект осаждения взвеси определяется по формуле: Э, % = $=(C_0 - C_t)C_0 \cdot 100\%$, где C_t — содержание взвешенных веществ в сточной воде после первичных отстойников, мг/л.

Сравнение эффективности работы отстойников аналогичных типов, но с разными геометрическими размерами, с одинаковой степенью извлечения взвешенных веществ из близких по составу сточных вод, следует проводить с учетом условия седиментационного подобия

$$\lg t_1/t_2 = f(\lg h_1/h_2) \qquad (14.3)$$

где t_1, t_2 — продолжительность отстаивания сточной воды в сравниваемых отстойниках; h_1, h_2 — глубина проточной части сравниваемых отстойников.

Обработка данных натурной эксплуатации в форме зависимости (14.3) представлена ниже

$\lg t_1/t_2$	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
$\lg h_1/h_2$	0,2	0,4	0,6	0,8	1

Обычно в хорошо работающих вертикальных отстойниках при времени пребывания 1,5 ч эффект задержания взвешенных веществ составляет 40%, в радиальных и горизонтальных — 50%. При увеличении времени отстаивания до 2 ... 2,5 ч эффект осаждения соответственно увеличивается на 5 ... 10%.

Влажность выгружаемого осадка в технологически эффективно работающих отстойниках не должна быть более 95% при самотечном удалении и более 94% при удалении (откачке) насосами.

Эксплуатация преаэраторов и биокоагуляторов заключается в равномерном распределении сточных вод с регулированием подачи активного ила, своевременном выпуске осадка, а для биокоагуляторов — в контроле за уровнем взвешенного слоя.

При эксплуатации двухъярусных отстойников возможно образование пены и превращение ее в корку, вследствие чего необходимо систематическое удаление пены и корки в начале ее образования; повышенный вынос взвешенных веществ вследствие неравномерного поступления и распределения сточных вод; неравномерное накопление осадка. Выгрузка созревшего осадка производится каждые 10 дней. Ускорение брожения достигается введением в септическую камеру зрелого сброженного осадка.

14.2. Сооружения биологической очистки и обеззараживания

Аэротенки. Для определения качества очищенной воды при изменении величины ХПК/БПК$_5$ и температуры рекомендуется расчет технологической эффективности производить по формуле

$$L_t' = 4 + (\text{ХПК}/\text{БПК}_5)^{2/3} + 0{,}015N\frac{15}{t} \qquad (14.4)$$

где L_t' — БПК$_5$ отстоянной очищенной сточной воды, мг/л; ХПК/БПК$_5$ — величина химической и биологической потребности в кислороде, поступающей в аэротенки сточной воды; N — нагрузка на 1 г беззольного сухого вещества активного ила, мг БПК$_5$/г. сут; t — температура сточной воды, поступающей в аэротенк.

Серьезным недостатком фильтросных пластин является их засорение, которое приводит к ухудшению подачи воздуха в сточную жидкость. Наибольшее засорение происходит с внутренней стороны и обуславливается наличием пыли, окалины и ржавчины в продуваемом воздухе. Чтобы преодолеть сопротивление в пластинах, необходимо увеличить напор воздуха в сети и соответственно расход электроэнергии (через 4 ... 5 лет работы аэротенка потери напора в фильтросных пластинах возрастают в 2 ... 3 раза, а через 10 ... 12 лет их необходимо менять). Оптимальным сроком службы пластин следует считать 7 ... 8 лет. Методы чистки и обжига фильтросов с последующей их промывкой частично восстанавливают их проницаемость на короткий срок. Более перспективным является тщательная очистка воздуха от пыли на специальных фильтрах.

У всех пористых аэраторов в начале работы наблюдается быстрый рост потерь напора, затем следует период снижения до начального, после чего — медленный рост до их полного выхода из строя.

Δh, м вод ст	0,35	0,8	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
T, лет	1	2	3	4	55	6	7

Когда потери напора достигают 1,5 м во избежание значительного перерасхода электроэнергии и перегрева воздухонагнетателей, фильтросные пластины подлежат замене.

При очистке сточных вод, содержащих значительную концентрацию ПАВ, следует орошать поверхность аэротенков очищенной сточной жидкостью из вторичных отстойников.

В биофильтрах необходимо регулярно очищать водораспределительное устройство, систематически наблюдать и в случае засорения промывать поддонное пространство, систему вентиляции и дренаж биофильтров, промывать верхний слой загрузочного материала для ликвидации заболачивания, контролировать эффективности аэрации.

Качество сточной воды, очищенной на биофильтрах, по $БПК_5$ отстоенной жидкости, следует определять по формуле

$$L_t' = (ХПК/БПК_5)^{2/3} + L_0/k. \qquad (14.5)$$

где L_t' — $БПК_5$ отстоенной очищенной сточной воды, мг/л; $ХПК/БПК_5$ — величина химической и биологической потребности в кислороде, поступающей в биофильтр сточной воды; L_0 — $БПК_5$ воды, поступающей на биофильтр, мг/л; k — коэффициент, равный L_0/L_t', согласно СНИП 2.04.03—85.

Нарушение работы биофильтра может быть вызвано поступлением производственных сточных вод, содержащих компоненты, угнетающе действующие на биоценоз фильтра, применением неоднородных по крупности слоев загрузки, внутренним зарастанием труб оросительной системы. При эксплуатации фильтров $БПК_{полн}$ не должна превышать 250 ... 300 мг/л (в зависимости от пропускной способности), при большей БПК необходимо предусмотреть рециркуляцию.

Вторичные отстойники должны обеспечивать выделение активного ила и биопленки из очищенной жидкости. Качество работы вторичных отстойников является завершающим этапом очистки сточных вод на станциях аэрации и в значительной степени определяет эффективность работы станции в целом. Технологическую эффективность *работы вторичных отстойников оценивают по* концентрации оставшейся части активного ила и биопленки в очищенной воде, по формуле

$$b_t = L_t' + \frac{\sqrt[4]{L_t'}}{T} \qquad (14.6)$$

где b_t — вынос активного ила с очищенной водой, мг/л; L_t' — $БПК_5$ отстоенной очищенной воды, мг/л; T — время пребывания воды в *отстойнике*, ч.

При эксплуатации вторичных отстойников удаление активного ила должно производиться непрерывно и возможно более полно. Объем возвратного ила составляет 25 ... 50% расхода сточной жидкости. Осадок из вторичных отстойников после биофильтра следует удалять не реже 1 раза в сутки.

При эксплуатации биологических прудов необходимо следить, чтобы количество растворенного кислорода в воде было не менее 4 мг/л, скорость течения воды не должна превышать 0,001 ... 0,002 м/с, средняя глубина пруда не более 1,0 ... 1,5 м при очистке воды и 4 м — при доочистке. Контроль за работой прудов осуществляется 2 ... 3 раза в месяц.

Сооружения обеззараживания должны обеспечивать снижение бактериальных загрязнений в очищенной воде до нормативных. Технологическую эффективность работы сооружений обеззараживания следует оценивать по количеству бактерий кишечной группы, оставшихся в воде после обеззараживания, а также по концентрации остаточного хлора при обеззараживании хлором или его производными. Технологически эффективно работающие сооружения обеззараживания должны уменьшить количество бактерий кишечной группы в 1 л сточной воды до 1000 шт., не более. Количество остаточного хлора — не менее 1,5 мг/л при обязательном контакте воды с хлором не менее 30 мин.

14.3. Сооружения по обработке осадка

При эксплуатации метантенков нормальный процесс брожения обеспечивается соблюдением установленной нормы суточной загрузки свежим осадком и поддержанием заданной температуры, регулярным перемешиванием осадка и выгрузкой сброженного осадка с замером его количества. Причинами, нарушающими процесс сбраживания, могут являться: превышение процента загрузки, резкие колебания температур брожения, поступление токсичных для микрофлоры метанового брожения веществ, наличие компонентов, не подвергающихся метановому брожению.

На метантенках следует достигать выхода газов брожения не ниже 8 ... 10 $м^3/м^3$ сбраживаемого осадка с содержанием метана не менее 50 ... 60%. Аэробно сброженный осадок не должен иметь удельное сопротивление фильтрации более $60 \dots 100 \cdot 10^{10}$ см/г.

Обеззараживание достигается нагревом осадков до 50 ... 55° С в метантенках или до 60° С в сушилках и камерах дегельминтизации, либо другими методами (компостирование с твердыми бытовыми отходами, химическое обеззараживание и др.). Стабилизация достигается при анаэробном и аэробном сбраживании, введении в осадок извести до достижения pH не менее 11 ... 12.

Обезвоживание осадков до состояния твердого или полутвердого продукта осуществляется подсушкой на иловых площадках, обработкой на центрифугах, вакуум-фильтрах, фильтр-прессах, при этом

влажность обезвоженных осадков не должна превышать 80 ... 85%. Обезвоживание осадков до состояния твердого сухого, сыпучего продукта достигается термической сушкой с одновременным их обезвоживанием и стабилизацией. Влажность термически высушенных осадков не должна превышать 45 ... 50%.

При эксплуатации барабанных сушилок необходимо учитывать следующие положения: влажность поступающего осадка должна быть не более 80%, а влажность обработанного осадка — около 30 ... 40%; дымовые газы должны иметь температуру 700 ... 800° С без значительных колебаний; выходящие газы должны иметь температуру *около* 250° С; *на сушильном барабане устанавливаются приборы*, регистрирующие основные параметры процесса: температуру в топке на входе и выходе газа, количество поступающего осадка, расход газа, влажность поступающего и выходящего осадка должна измеряться не реже 1 раза в смену.

ЛИТЕРАТУРА

Бабенков Е. Д. Очистка воды коагулянтами. М., 1977

Василенко А. А. Водоотведение. Курсовое проектирование. Киев, 1988.

Гороновский И. Т., Руденко Г. Г. Эксплуатация станций подготовки хозяйственно-питьевой воды. Киев, 1975.

Карюхина Т. А., Чурбанова И. Н. Контроль качества воды. М., 1986.

Кульский Л. А., Строкач П. П. Технология очистки природных вод. Киев, 1986.

Курганов А. М., Федоров Н. Ф. Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации. М.; Л., 1986.

Ласков Ю. М., Воронов Ю. В., Калицун В. И. Примеры расчетов канализационных сооружений. М., 1987.

Мельдер Х. А., Пааль Л. Л. Малогабаритные канализационные очистные установки. М., 1987.

Методика оценки технологической эффективности работы городских очистных сооружений канализации. М., 1987.

Методические указания по применению правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами. М., 1982.

Москвитин Б. А., Мирончик Г. М., Москвитин А. С. Оборудование водопроводных и канализационных сооружений. М., 1984.

Николадзе Г. И. Технология очистки природных вод. М., 1987.

Николадзе Г. И., Минц Д. М., Кастальский А. А. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения. М., 1984.

Основы прогнозирования качества поверхностных вод. М., 1982.

Попкович Г. С., Репин Б. Н. Системы взрации сточных вод. М, 1986.

Правила приема производственных сточных вод в систему канализации населенных пунктов. М., 1988.

Производство и применение фильтрующих материалов для очистки воды. Справочное пособие. Л., 1985.

Руденко Г. Г., Гороновский И. Т. Удаление примесей из природных вод на водопроводных станциях. Киев, 1976.

Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения в местах водопользования населения. СанПиН №4631—88. М., 1988.

Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. СанПиН № 4630—88. М., 1988.

Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды. Киев, 1980.

Справочник проектировщика. Канализация населенных мест и промышленных предприятий/Под ред. Н. Ф. Самохина. М., 1981.

Таубе П. Р., Баранова А. Г. Химия и микробиология воды. М., 1983.

Федоров Н. Ф., Волков Л. Е. Гидравлический расчет канализационных сетей. М.; Л., 1968.

Черкинский С. Н. Санитарные условия спуска сточных вод в водоемы. М., 1977.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Раздел первый. КАЧЕСТВО ВОДЫ

Глава 1. Свойство природных и сточных вод 4
1.1. Показатели качества воды 4
1.2. Свойства природных вод 8
1.3. Охрана источников воды от загрязнения 9
1.4. Состав сточных вод 10

Глава 2. Требования к качеству воды 14
2.1. Хозяйственно-питьевая вода 14
2.2. Техническая вода 16
2.3. Сточная вода 17
2.4. Качество воды водных объектов 20

Глава 3. Прогноз качества воды водных объектов 26
3.1. Исходные данные 26
3.2. Расчет качества воды рек 33
3.3. Расчет качества воды непроточных водоемов 48

Раздел второй. ПОДГОТОВКА ВОДЫ

Глава 4. Коагулирование воды 51
4.1. Характеристика применяемых реагентов 51
4.2. Основные принципы и понятия процесса коагулирования воды 56
4.3. Сооружения коагулирования 61

Глава 5. Методы и сооружения для предварительной очистки воды 79
5.1. Осветление воды в отстойниках 79
5.2. Осветление воды в осветлителях со взвешенным осадком 89
5.3. Микрофильтры 95
5.4. Гидроциклоны 99
5.5. Флотация 102

Глава 6. Фильтрование воды 105
6.1. Классификация фильтров 105
6.2. Устройство и процесс работы скорого фильтра 106
6.3. Фильтрующие материалы зернистых фильтров 108
6.4. Дренажные системы и промывка скорых фильтров 111
6.5 Расчет скорых фильтров 115
6.6 Контактные осветлители 119
6.7. Напорные фильтры 123
6.8. Самопромывающиеся фильтры 125
6.9. Фильтры с плавающей загрузкой 126
6.10. Сверхскоростные фильтры 126
6.11. Двухступенчатое фильтрование 127
6.12. Фильтрование через слой осадка 128

Глава 7. Обеззараживание воды, обработка воды окислителями и сорбентами 131
7.1. Способы обеззараживания воды, роль окислителей в водоподготовке 131
7.2. Хлорирование воды 132
7.3. Озонирование воды 142
7.4. Обеззараживание воды в бактерицидных установках 146
7.5. Применение окислителей и сорбентов для дезодорации воды и удаления токсичных веществ 149