



Федеральное агентство железнодорожного
транспорта

Уральский государственный университет
путей сообщения

Кафедра «Инженерная защита окружающей среды»

А. М. Асонов

РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ ОЧИСТКИ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

(механическая и биохимическая очистки)

Екатеринбург

2009

Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Уральский государственный университет путей сообщения
Кафедра «Инженерная защита окружающей среды»

А. М. Асонов

**РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ ОЧИСТКИ
ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД**
(механическая и биохимическая очистки)

Пособие к курсовым проектам по дисциплинам
«Процессы и аппараты защиты окружающей среды»,
«Системы водоотведения населенных пунктов»
для студентов специальности 280202 –
«Инженерная защита окружающей среды»

Екатеринбург

2009

УДК 628.16
А 90

Асонов А. М.

Расчет сооружений очистки городских сточных вод (механическая и биохимическая очистки) : учеб. пособие. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2009. – 68 с.

Рассмотрены основные технологические схемы очистки сточных вод на городских очистных сооружениях, приведен состав сточных вод городской канализации. На конкретных примерах рассмотрены алгоритмы расчетов сооружений механической (решетки, песколовки, отстойники) и биохимической (биофильтры, аэротенки) очистки сточных вод. Пособие предназначено для приобретения навыков проектирования водоохранной техники студентами специальности 280202 – «Инженерная защита окружающей среды», а также будет полезно для студентов и аспирантов строительных специальностей.

Автор:

А.М. Асонов, зав. кафедрой «Инженерная защита окружающей среды», д-р биол. наук, УрГУПС

Рецензенты:

А.Ф. Никифоров, профессор кафедры ВХиТОВ, д-р хим. наук, УГТУ–УПИ
Ю.С. Рыбаков, профессор кафедры ИЗОС, д-р техн. наук, УрГУПС

© Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), 2009

© А.М. Асонов, 2008

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	4
1. Городские сточные воды и сооружения их очистки	5
<u>1.1. Состав сточных вод</u>	5
1.2. Технологические схемы очистки сточных вод	6
2. Сооружения для механической очистки сточных вод	12
2.1. Решетки	12
<u>2.2. Песколовки</u>	15
<u>2.3. Первичные отстойники</u>	23
2.3.1. Горизонтальные отстойники	24
2.3.2. Вертикальные отстойники	30
2.3.4. Отстойники с тонкослойными модулями	37
2.3.5. Расчет вторичных вертикальных отстойников	40
3. Сооружения биологической очистки сточных вод	43
3.1. Биофильтры	43
3.2. Расчет биофильтров	47
3.3. Погружные биофильтры	51
3.4. Аэротенки	55
<u>3.5. Расчет аэротенков</u>	59
Библиографический список	67

ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие промышленности, рост городов и населенных пунктов, повышение уровня благоустроенности последних обуславливают значительный рост водопотребления на питьевые, хозяйственно-бытовые и производственные нужды и непосредственно связанное с ним водоотведение образующихся сточных вод в водные объекты.

Значительное ухудшение санитарно-гигиенического состояния водных ресурсов нашей страны ставит перед специалистами научно-исследовательских, проектных и эксплуатационных служб задачу проектирования и освоения более совершенных сооружений и технологических схем очистки сточных вод.

Следует отметить, что защита водных объектов от загрязнения сточными водами является общегосударственной и требует комплексного подхода к решению.

Специалисты – экологи, обучающиеся по специальности 280 202 – «Инженерная защита окружающей среды», обязаны не только иметь теоретические знания по технологиям и сооружениям охраны водных объектов от загрязнения сточными водами, но и знать методы расчета и проектирования основных сооружений, используемых на городских очистных сооружениях.

Предлагаемое пособие позволяет студентам специальности «Инженерная защита окружающей среды» освоить методику расчета основных сооружений очистки сточных вод городской канализации, более глубоко понять сложный механизм их работы, взаимозависимость эффективности работы станции в целом от эффективности работы каждого сооружения.

Учебное пособие предназначено для использования студентами при курсовом проектировании и при выполнении дипломной работы. Алгоритм расчета сооружений, теоретическая часть и справочная информация могут быть полезны для студентов строительных специальностей, а также для инженеров и техников, занимающихся проектированием и эксплуатацией очистных сооружений городской канализации.

1. ГОРОДСКИЕ СТОЧНЫЕ ВОДЫ И СООРУЖЕНИЯ ИХ ОЧИСТКИ

1.1. Состав сточных вод

Под понятием «городские сточные воды» понимается смесь бытовых и производственных вод, поступающих на городские очистные сооружения по раздельной канализационной системе. В реальных условиях в чистом виде бытовых вод не бывает. В сточных водах, поступающих от городов, всегда содержатся компоненты загрязнений, характерные для производственных сточных вод (нефтепродукты, кислоты, щелочи, соли и др.).

По физическому состоянию загрязнения сточных вод делятся: а) на нерастворимые примеси, находящиеся в воде в виде крупной взвеси и в виде суспензии; б) коллоидные (диаметром от 0,1 до 0,001 мк; в) растворенные, находящиеся в воде в виде молекулярно-дисперсных частиц диаметром менее 0,001 мк.

По своей природе загрязнения делятся на минеральные, органические, бактериальные и биологические. В среднем минеральные вещества в загрязнениях составляют 42 %, а органические – 58 %. Содержащиеся в сточной воде живые микроорганизмы, бактерии, дрожжевые и плесневые грибы и т.п. составляют группу бактериальных загрязнений.

Взвешенными веществами называют осадок, остающийся на бумажном фильтре с размерами пор 1–2 мкм, после фильтрации через него 1 дм³ сточной воды. Измеряются в мг/дм³. Общее количество взвешенных веществ в городских сточных водах составляет около 65 г на одного человека в сутки, и при норме водоотведения 200–250 дм³ на одного человека в сутки их концентрация в сточных водах колеблется от 140 до 250 мг/дм³.

Степень загрязненности сточных вод органическими компонентами оценивается по массе кислорода, израсходованной для их окисления. Этот показатель называют биохимической потребностью в кислороде (БПК), и он выражается в мг кислорода на 1 дм³ сточной жидкости (мг О₂/дм³ или г/м³). Более полную оценку загрязненности сточных вод органическими веществами дает показатель ХПК – химическая потребность в кислороде. Так называют количество кислорода, необходимое для окисления химическими методами всех органических загрязнений, содержащихся в сточных водах, выражают ХПК в мг кислорода на 1 дм³ воды (мг О₂/дм³). Для бытовых сточных вод БПК₂₀ составляет 86 % от ХПК. Производственные сточные воды имеют ХПК, превышающие БПК₂₀ на 50 % и более.

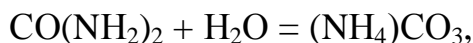
В табл. 1 приведены значения БПК₂₀ бытовых вод при различных нормах водоотведения.

Таблица 1

Зависимость биохимической потребности (БПК₂₀) бытовых сточных вод от нормы водоотведения

Норма водоотведения на одного человека, дм ³ /сут	100	125	150	170	200	250	300	400
БПК ₂₀ , мг О ₂ /дм ³	400	320	267	235	200	160	133	100

Белковые вещества в живом организме в процессе обмена веществ образуют мочевины $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, которая под влиянием гнилостных бактерий в сточной воде подвергается гидролизу с образованием азота аммонийных солей:



В этом виде, т.е. в виде углекислого аммония, азот находится в сточных водах. В дальнейшем углекислый аммоний, разлагаясь, может давать аммиак по уравнению:



Качество сточных вод характеризуется также показателями солесодержания, солей азотистой и азотной кислот, концентрацией нефтепродуктов, фенолов, поверхностно-активных веществ (ПАВ), содержанием растворенного кислорода, прозрачностью, цветностью, запахом, температурой.

Степень бактериальной загрязненности микроорганизмами оценивается общим количеством аэробных сапрофитов (растения, грибы и бактерии, питающиеся органическим веществом отмерших организмов), а также микробным числом и содержанием бактерий группы кишечной палочки (БГКП), числом яиц гельминтов.

Микробным числом определяется общая осемененность микроорганизмами и для бытовых вод находится в пределах 10^6 – 10^8 ед. в дм^3 . Степень загрязненности патогенными микроорганизмами оценивают по присутствию в воде БГКП, а общую санитарно-эпидемиологическую опасность – еще и по содержанию яиц гельминтов (глистов), поступающих в сточные воды с выделениями людей и животных.

1.2. Технологические схемы очистки сточных вод

Выбор методов очистки сточных вод и определение состава сооружений представляют собой сложную технико-экономическую задачу и зависят от многих факторов: расхода сточных вод и мощности водоема, расчета необходимой степени очистки, рельефа местности, характера грунтов, энергетических затрат и др.

Расчет необходимой степени очистки показывает, какого эффекта задержания загрязняющих веществ необходимо достичь на очистных сооружениях.

На сооружениях механической очистки эффект снижения взвешенных веществ составляет 40–60 %, что приводит также к снижению величины $\text{БПК}_{\text{пма}}$ на 20–40 %.

Сооружения биологической очистки обеспечивают снижение показателей загрязнений (после аэротенков или биофильтров и вторичных отстойников) по взвешенным веществам и по БПК_5 до 15 – 20 мг/дм^3 .

В технологических схемах биологической очистки применяются биофильтры при расходах сточных вод 10 – 20 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$, аэротенки – при расходах от 50 тыс. до 2 – 3 млн $\text{м}^3/\text{сут}$.

Сточная вода, поступающая на очистную станцию, проходит через решетки, песколовки, отстойники и обеззараживается при использовании хлора. Отбросы с решеток направляются в дробилку и в виде пульпы сбрасываются в канал перед или за решеткой. Возможен вариант вывоза отбросов на полигон. Осадок из песколовки перекачивается на песковые площадки. Из отстойников осадок направляется в метантенки с целью окисления органических веществ. Для обезвоживания сброженного осадка используются иловые площадки, дренажная вода с этих площадок перекачивается в канал перед контактным резервуаром.

При больших расходах сточных вод – от 50 тыс. м³/сут до 2–3 млн м³/сут и более применяется технологическая схема, приведенная на рис.2.

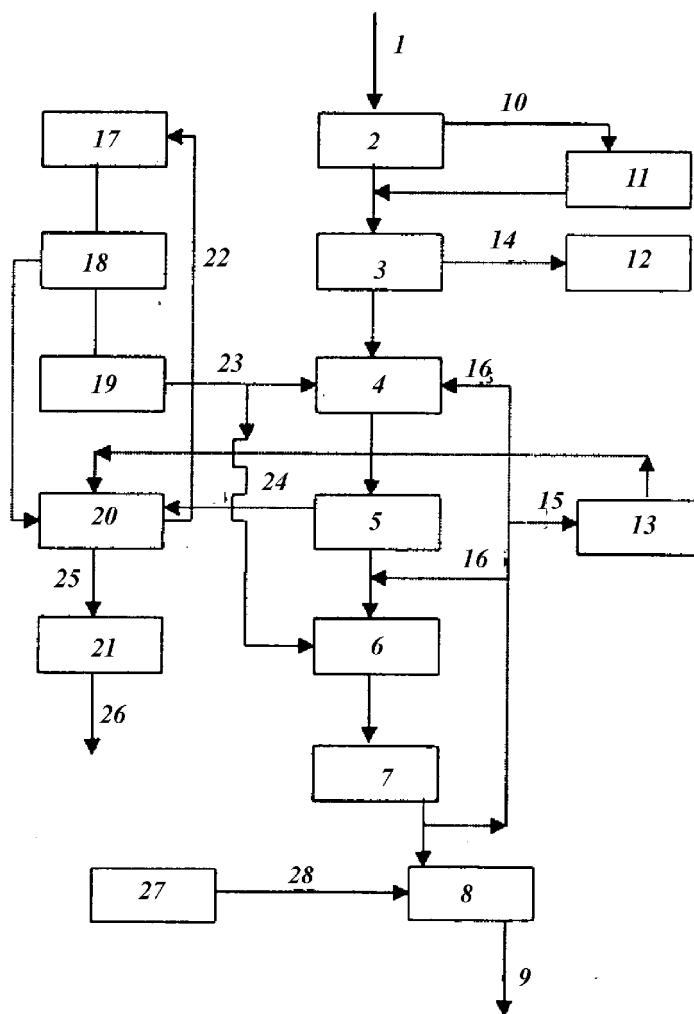


Рис. 2. Технологическая схема очистной станции с биологической очисткой сточных вод в аэротенках:

1 – сточная вода; 2 – решетки; 3 – песколовки; 4 – преаэраторы; 5 – первичные отстойники; 6 – аэротенки; 7 – вторичные отстойники; 8 – контактный резервуар; 9 – выпуск; 10 – отбросы; 11 – дробилки; 12 – песковые площадки; 13 – илоуплотнители; 14 – песок; 15 – избыточный активный ил; 16 – циркуляционный активный ил; 17 – газгольдеры; 18 – котельная; 19 – машинное здание; 20 – метантенки; 21 – цех механического обезвоживания сброженного осадка; 22 – газ; 23 – сжатый воздух; 24 – сырой осадок; 25 – сброженный осадок; 26 – на удобрение; 27 – хлораторная установка; 28 – хлорная вода.

Механическая очистка сточных вод производится на решетках, в песколовках и отстойниках.

Для интенсификации осаждения взвешенных веществ перед первичными отстойниками могут использоваться преаэраторы, в которые подается определенная часть избыточного активного ила в качестве биофлокулятора. Сырой осадок из первичных отстойников направляется в метантенки.

Биологическая очистка сточных вод по этой схеме осуществляется в аэротенке. Аэротенк представляет собой открытый резервуар, в котором находится смесь активного ила и осветленной сточной воды.

Для нормальной жизнедеятельности микроорганизмов активного ила в аэротенк должен поступать воздух, который подается воздуходувками, установленными в машинном здании. Смесь очищенной сточной воды и активного ила из аэротенка направляется во вторичный отстойник, где осаждаются активный ил и основная его масса возвращается в аэротенк.

В системе «аэротенк – вторичный отстойник» масса активного ила увеличивается за счет его прироста, поэтому часть его (избыточный активный ил) удаляется из вторичного отстойника и подается в илоуплотнитель, при этом объем ила уменьшается в 4 – 6 раз, а уплотненный избыточный ил перекачивается в метантенк. Очищенная сточная вода обеззараживается (обычно хлорируется) в контактном резервуаре и сбрасывается в водоем.

Сброженный осадок из метантенков направляется для механического обезвоживания на вакуум-фильтры или фильтр-прессы. Обезвоженный осадок может подвергаться термической сушке и использоваться в качестве удобрения.

На рис. 3 приведена технологическая схема биологической очистки сточных вод на биофильтрах. Такие схемы используются для расходов сточных вод порядка 10 – 20 тыс. м³/сут.

После сооружений механической очистки (решетки, песколовки и первичные отстойники) вода поступает на биофильтры и затем во вторичные отстойники, в которых задерживается биологическая пленка (био пленка), выносимая водой из биофильтров, далее вода направляется в контактный резервуар, дезинфицируется и сбрасывается в водоем.

Проходя через фильтрующую загрузку биофильтра, загрязненная вода оставляет в ней взвешенные и коллоидные органические вещества, не осевшие в первичных отстойниках, которые создают био пленку, густо заселенную микроорганизмами. Микроорганизмы био пленки окисляют органические вещества и получают необходимую для своей жизнедеятельности энергию. Таким образом, из сточной воды удаляются органические вещества, а в теле биофильтра увеличивается масса биологической пленки. Отработанная и омертвевшая пленка смывается протекающей сточной водой и выносится из биофильтра.

Для нормального хода процесса очистки в биофильтрах иногда необходимо осуществлять рециркуляцию осветленной во вторичных отстойниках воды, т. е. подавать перед биофильтрами и смешивать с водой из первичных отстойников. Необходимость рециркуляции определяется расчетом.

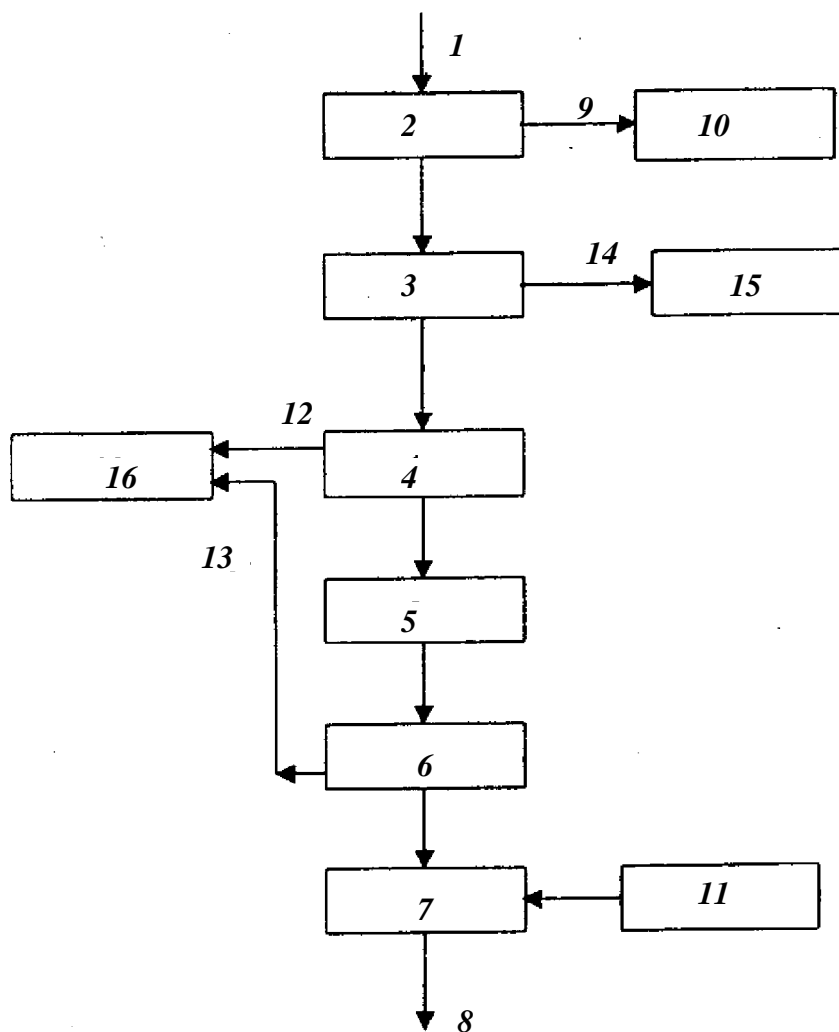


Рис. 3. Технологическая схема очистной станции с биологической очисткой сточных вод на биофильтрах:

1 – сточная вода; 2 – решетки; 3 – песколовки; 4 – первичные отстойники; 5 – биофильтры; 6 – вторичные отстойники; 7 – контактный резервуар; 8 – выпуск; 9 – отбросы; 10 – дробилки; 11 – хлораторная установка; 12 – осадок из первичных отстойников; 13 – био пленка из вторичных отстойников; 14 – песок; 15 – бункер песка; 16 – иловые площадки

Физико-химическая очистка городских сточных вод применяется для очистки расходов – 10–20 тыс. м³/сут. На рис. 4 приведена технологическая схема физико-химической очистки сточных вод.

Вода, прошедшая решетки и песколовки, направляется в смеситель, куда в определенных дозах подаются растворы реагентов – минеральных коагулянтов и органических флокулянтов. При введении в сточную воду минеральных коагулянтов образуются оксигидраты металлов, на которых собираются взвешенные, коллоидные и частично растворенные вещества. Флокулянты укрупняют хлопья оксигидратов и улучшают их структурно-механические свойства. После камер хлопьеобразования осадки отделяются от очищенной воды в горизонтальных отстойниках. Для глубокой очистки от взвешенных веществ используются барабанные сетки и двухслойные фильтры или фильтры с восходя-

щим потоком воды. Обеззараженная хлором вода сбрасывается в водоем. Осадок из отстойников уплотняется и обезвоживается на центрифугах.

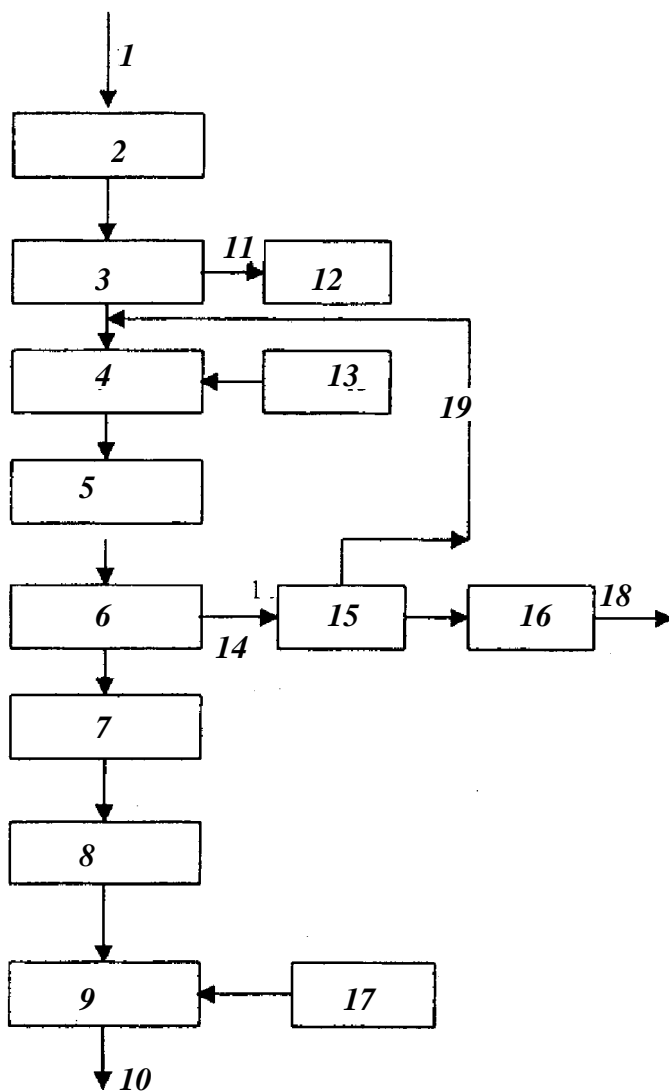


Рис.4. Технологическая схема очистной станции с физико-химической очисткой сточных вод:

1 – сточная вода; *2* – решетки; *3* – песколовки; *4* – смеситель; *5* – камера хлопьеобразования; *6* – горизонтальные отстойники; *7* – барабанные сетки; *8* – фильтры; *9* – контактный резервуар; *10* – выпуск в водоем; *11* – песок; *12* – бункер песка; *13* – приготовление и дозирование реагентов; *14* – осадок; *15* – осадкоуплотнители; *16* – центрифуги; *17* – хлораторная; *18* – шлам; *19* – отстоенная вода

2. СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

2.1. Решетки

Решетки, предназначенные для задержания крупных загрязнений в сточной воде, устанавливают на пути движения жидкости. Решетка состоит из наклонно или вертикально установленных параллельных металлических стержней, укрепленных на металлической раме. Наклон решетки чаще всего составляет $60 - 70^\circ$ к горизонту.

Решетки по способу очистки их от задержанных ими загрязнений подразделяются на **простейшие**, которые очищают ручным способом, и **механические**, которые очищают механическими приспособлениями. Схема решетки с механической очисткой представлена на рис. 5.

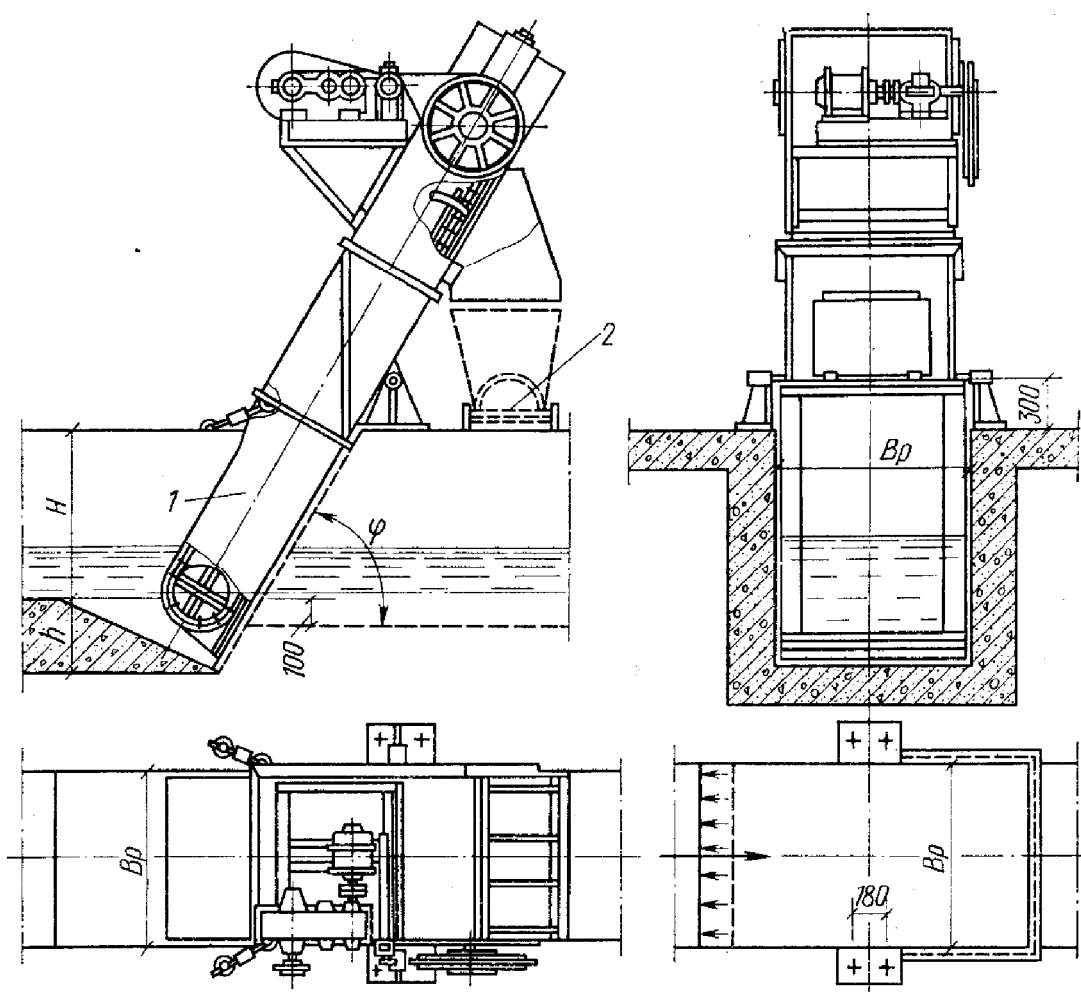


Рис. 5. Схема установки решетки с механизированной очисткой:
1 – механизированная решетка с граблями; 2 – транспортер

В прозорах решетки движутся зубцы граблей, укрепляемых на подвижной шарнирно-пластинчатой цепи. Цепь приводится в движение двигателем через привод с шестеренчатой передачей. Отбросы, снятые со стержней решетки и поднятые граблями на подвижную ленту, направляются в дробилку для их

размельчения. По действующим нормативам механическую очистку решетки и дробление отходов требуется производить при количестве отходов более $0,1 \text{ м}^3/\text{сут}$.

На очистных станциях для очистки городских сточных вод устанавливают решетки со стержнями, расположенными на расстоянии 16 мм друг от друга. Стержни решетки обычно выполняют из металлических полос круглой, квадратной, прямоугольной или другой формы. Наибольшее распространение получили стержни прямоугольного сечения из полосовой стали $60 \times 10 \text{ мм}$, так как отбросы на них не заклиниваются и легко снимаются граблями.

При расчете решеток определяют их размеры и потери напора, которые возникают при прохождении сточной жидкости через решетку. Ширину решетки B_p , число прозоров n , площадь живого сечения ω определяют по расходу сточных вод и заданной скорости движения сточной жидкости через решетку. Эта скорость должна быть такой, чтобы задержанные на решетке отбросы под влиянием кинетической энергии струи не продавливались через прозоры. Исходя из этого условия, V_p принимают равной $0,8 - 1 \text{ м/с}$. Зная расход воды q по формуле

$$q = \omega V_p = bnhV_p \quad (2.1)$$

и приняв скорость V_p , величину прозора решетки b , глубину потока h , находят число прозоров

$$n = \frac{q}{bhV_p} K_{ст}, \quad (2.2)$$

а также ширину решетки

$$B_p = bn + S(n-1), \quad (2.3.)$$

где $K_{ст}$ – коэффициент, учитывающий стеснение потока граблями и задержанными загрязнениями; принимается равным $1,05 - 1,1$;

S – толщина стержня, мм.

Потеря напора в решетке может быть определена по формуле

$$h_p = \zeta \frac{V_1^2}{2g^2} K, \quad (2.4.)$$

где V_1 – скорость движения воды в канале перед решеткой, принимаемая равной $0,7 - 0,8 \text{ м/с}$;

ζ – коэффициент сопротивления;

K – коэффициент, учитывающий увеличение потери напора за счет засорения решетки, принимается равным 3.

Коэффициент сопротивления определяется по формуле

$$\zeta = \beta \left(\frac{S}{b} \right)^{4/3} \sin \varphi, \quad (2.5)$$

где β – коэффициент, зависящий от формы поперечного сечения стержней

решетки, принимается равным: 1,79 – для круглых стержней; 2,42 – для прямоугольных и 1,83 – для прямоугольных с закругленными ребрами;

φ – угол наклона решетки к горизонту.

Пример расчета решетки. Определить размеры решетки для очистной станции с максимальным расходом $q=0,75$ м³/с при расчетном населении 200 000 жителей.

Сточные воды подходят к очистной станции по каналу шириной 800 мм при наполнении $h = 0,87$ м со средней скоростью $V_k = 1,08$ м/с. Решетка установлена под углом 60° к дну канала.

Принимаем решетки с прозорами $b = 0,016$ м, стержнями из полосовой стали сечением $S \times L = 8 \times 50$ мм. Скорость движения воды в решетке $V_p = 0,8$ м/с. Глубину воды у решетки принимаем равной $h_1 = h_k = 0,87$ м. Число прозоров определяем по формуле (2.2):

$$n = \frac{qK_{\text{ст}}}{bhV_p} K = \frac{0,75 \cdot 1,05}{0,016 \cdot 0,87 \cdot 0,8} = 70,7 \approx 70 \text{ прозоров}$$

Принимаем две решетки с числом прозоров 35 в каждой. Следовательно, ширина решетки по формуле (2.3):

$$B_p = 0,008(35 - 1) + 0,016 \cdot 35 = 0,832 \approx 0,8 \text{ м.}$$

Принимаем две рабочие механизированные решетки размером 800×1400 мм по типовому проекту Мосводоканалпроекта и одну резервную решетку такого же типа.

Общая ширина прозоров одной решетки составляет 0,56 м, что при наполнении канала 0,87 м дает площадь живого сечения решетки, равную 0,49 м. При расходе воды, равном 0,375 м/с, скорость движения воды в каждой решетке будет 0,76 м/с, что допустимо.

При проходе воды через решетку создается подпор $h_p = 0,12$ м.

На эту величину нужно понизить дно камеры решетки по отношению к дну подводящего канала, т. е. устроить перепад по дну высотой 0,12 м.

Количество отбросов, снимаемых с решетки, при норме загрязнений $a = 6$ л/год на одного жителя и при объемном весе загрязнений в среднем 750 кг/м² будет

$$W = \frac{aN}{365 \cdot 1000} = \frac{6 \cdot 200\,000}{365 \cdot 1000} \approx 3,3 \text{ м}^3/\text{сут.},$$

или $3,3 \cdot 750 = 2\,500$ кг/сут. При таком количестве отбросов предусматривается их дробление, для чего принимается установка дробилки типа Д-3 производительностью 0,3 т/ч. В качестве резервной принимается такого же типа одна дробилка.

2.2. Песколовки

Песколовки предназначены для задержания минеральных примесей, содержащихся в сточной воде. Необходимость предварительного выделения минеральных примесей обуславливается тем, что при раздельном выделении из сточной жидкости минеральных и органических загрязнений облегчаются условия эксплуатации сооружений, предназначенных для дальнейшей обработки воды и осадка, – отстойников, метантенков и др.

Принцип действия песколовки основан на том, что под влиянием сил тяжести частицы, удельный вес которых больше, чем удельный вес воды, по мере движения их вместе с водой в резервуаре выпадают на дно. Песколовки должны быть рассчитаны на такую скорость движения воды, при которой выпадают только наиболее тяжелые минеральные загрязнения, мелкие же органические частицы не должны осесть. Песколовки обычно рассчитываются на задержание песка крупностью 0,25 мм и более. Установлено, что при горизонтальном движении воды в песколовке скорость должна быть не более 0,3 и не менее 0,15 м/с. При скорости движения более 0,3 м/с песок не будет успевать осаждаться в песколовке, при скорости менее 0,15 м/с в песколовке будут осаждаться органические примеси, что крайне нежелательно.

Песколовки бывают горизонтальные, в которых вода движется в горизонтальном направлении, с прямолинейным или круговым движением воды, вертикальные, в которых вода движется вертикально вверх, и песколовки с винтовым поступательно-вращательным движением воды. Последние в зависимости от способа создания винтового движения могут подразделяться на **тангенциальные** и **азрируемые**. В настоящее время широко применяются горизонтальные песколовки, вертикальные песколовки используются редко.

Горизонтальная песколовка (рис. 6) состоит из рабочей части, где движется поток, и осадочной, назначение которой – собирать и хранить выпавший песок до его удаления. Расчет песколовки заключается в определении размеров (длины, ширины и высоты) как рабочей, так и осадочной части.

Длину проточной части песколовки определяют по формуле

$$L = 1000 \nu h / u, \quad (2.6)$$

где ν – скорость горизонтального движения жидкости в песколовке, принимаемая равной 0,3 м/с при максимальном расходе;

h – глубина проточной части песколовки, м;

u – средняя скорость осаждения частиц песка заданной крупности, которые должны быть выделены в песколовке, м/с.

С учетом влияния турбулентности потока скорость осаждения частиц песка может быть определена по формуле А.А. Карпинского:

$$u = \sqrt{u_0^2 - w^2}, \quad (2.7)$$

где u_0 – гидравлическая крупность частиц песка, мм/с (принимается по табл. 2),

w – вертикальная турбулентная составляющая продольной скорости, равная $0,05 V_{\max}$.

Таблица 2

Зависимость гидравлической крупности от размера песка

Размеры частиц песка, мм	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45
Гидравлическая крупность частиц, мм/с, при температуре сточных вод 10 – 15 °С	18,7	24,2	28,3	34,5	40,7	51,6

Так как песколовки обычно должны задерживать песок крупностью более 0,2 – 0,25 мм, то гидравлическая крупность принимается равной 18 – 24 мм/с.

Ширину песколовки, м, вычисляют по формуле

$$B = \frac{q}{Vh}, \quad (2.8)$$

где q – расход воды, м³/с;

V – горизонтальная скорость движения жидкости, м/с;

h – глубина проточной части песколовки, м.

Если песколовка состоит из нескольких отделений, то ширина одного отделения, м, равна:

$$b = \frac{B}{n},$$

где n – число отделений песколовки.

Как показал опыт, в хорошо работающих горизонтальных песколовках можно задержать 65 – 75 % всех минеральных загрязнений, содержащихся в сточной воде.

Для того чтобы с уменьшением скорости движения воды органические вещества не осаждались, необходимо или отключать часть отделений в часы минимального притока сточных вод, или устанавливать специальные устройства с автоматическим регулированием скорости. Чтобы обеспечить скорость движения воды в песколовке, близкую к расчетной при изменяющемся расходе, нужно на выходе установить какое-либо устройство, создающее подпор (пропорциональный водослив, водослив с широким порогом, лоток Паршаля и др.).

Время пребывания жидкости в горизонтальной песколовке принимают 30 – 50 с, ширину отделений – от 0,5 до 2 м, высоту рабочей части от 0,25 до 1 м. Для определения размеров осадочной части песколовки необходимо знать количество песка, которое может быть задержано песколовкой в единицу времени.

При поступлении в песколовку городских сточных вод, в составе которых находятся преимущественно бытовые воды, количество задержанного в песколовке песка на одного человека составляет 0,02 дм³/сут при влажности осадка 60 % и объемном весе его 1,5 т/м³.

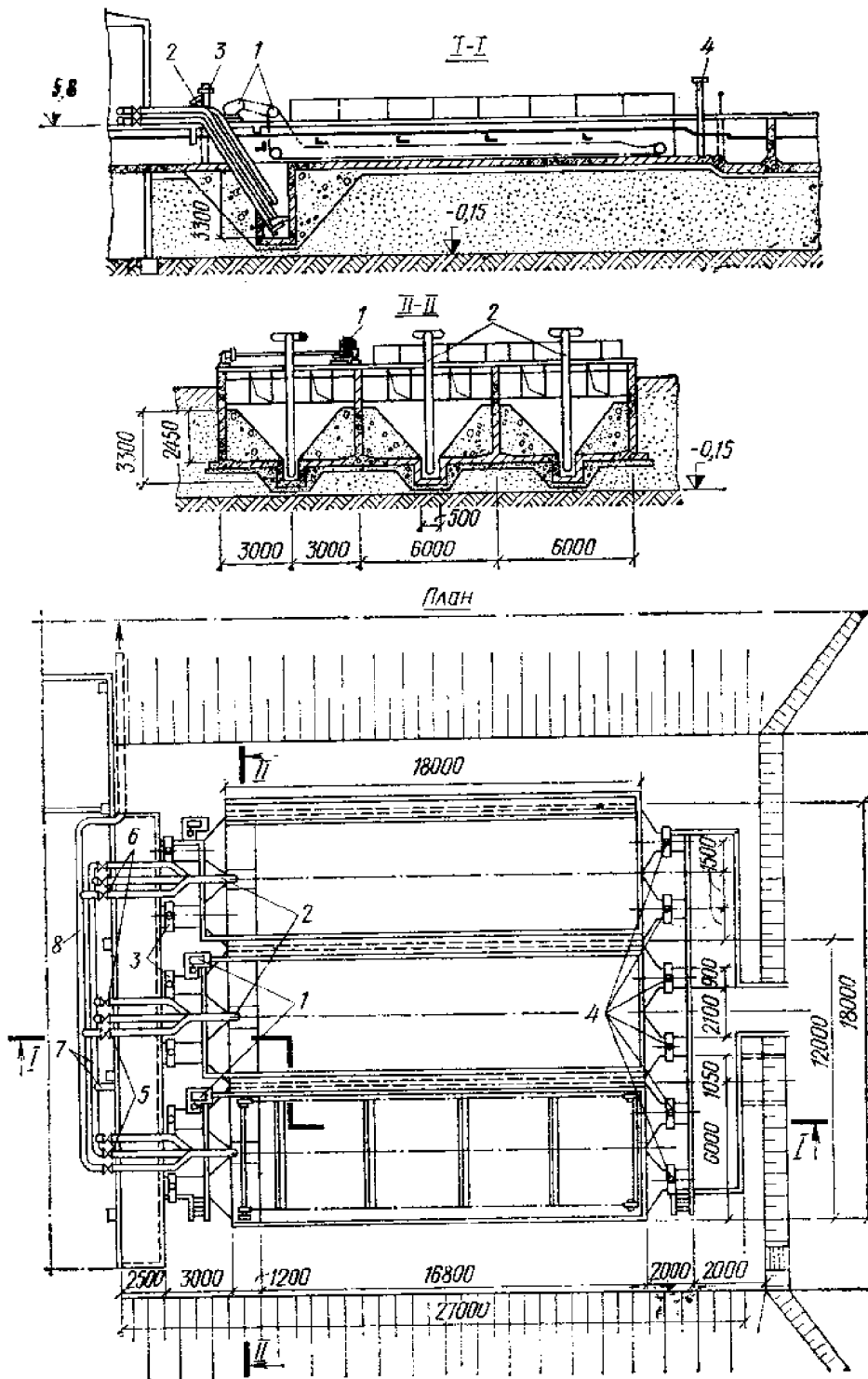


Рис. 6. Горизонтальная песколовка с прямолинейным движением воды:
 1 – скребковый механизм для удаления песка; 2 – гидроэлеватор; 3 – щитовой затвор с электроприводом; 4 – щитовой затвор с ручным приводом; 5, 6 – задвижки с электроприводом;
 7 – трубопровод рабочей воды к гидроэлеваторам; 8 – пульпопровод

Зная число жителей N , обслуживаемых канализацией, и норму осадения песка p , $\text{дм}^3/\text{сут}$, на одного человека, легко определить объем осадочной части, м^3 :

$$W_{oc} = \frac{pTN}{1000}, \quad (2.9)$$

где T – число суток между двумя чистками.

Объем камеры для песка не должен превышать двухсуточный объем выпадающего песка.

Песколовки очищают различными способами. При незначительных расходах сточных вод, поступающих на станцию, песколовки можно очищать насосом, который откачивает песок с водой из приемка, расположенного в головной части песколовки. На очистных станциях песок из песколовки обычно удаляют с помощью гидроэлеваторов и специальных механизмов – шнеков, скребков и др. Если количество осадков более $0,5 \text{ м}^3/\text{сут}$, то их надо обязательно удалять механическим способом.

Песколовка с круговым движением воды показана на рис. 7.

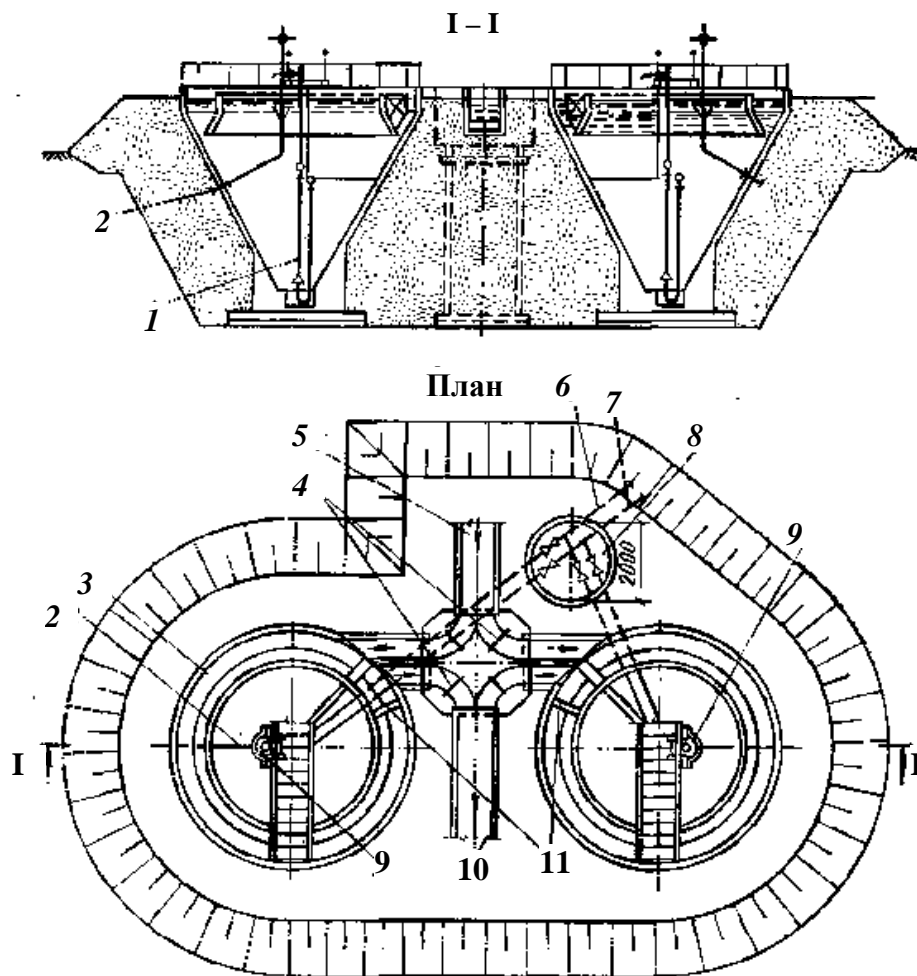


Рис. 7. Песколовки с круговым движением воды пропускной способностью $1400 - 64\,000 \text{ м}^3/\text{сут.}$:

- 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 – устройства для сбора всплывающих примесей; 10 – отводящий лоток; 11 – полупогружные щиты

Тангенциальные песколовки имеют круглую форму в плане; подвод воды к ним осуществляется по касательной (тангенциально). Подвод воды по касательной и движение ее в сооружении по кругу вызывают вращательное движение потока. При одновременном поступательном и вращательном движении создается винтовое движение. Вращательное движение положительно сказывается на работе песколовок, так как оно способствует отмывке от песка органических веществ и исключает их выпадение в осадок. Благодаря этому осадок из тангенциальных песколовок содержит меньше органических загрязнений, чем в песколовках других типов.

Развитие тангенциальных песколовок представляют аэрируемые песколовки. Аэрируемые песколовки имеют удлиненную прямоугольную в плане форму и прямоугольное или трапецеидальное сечение с шириной, равной высоте (рис. 8).

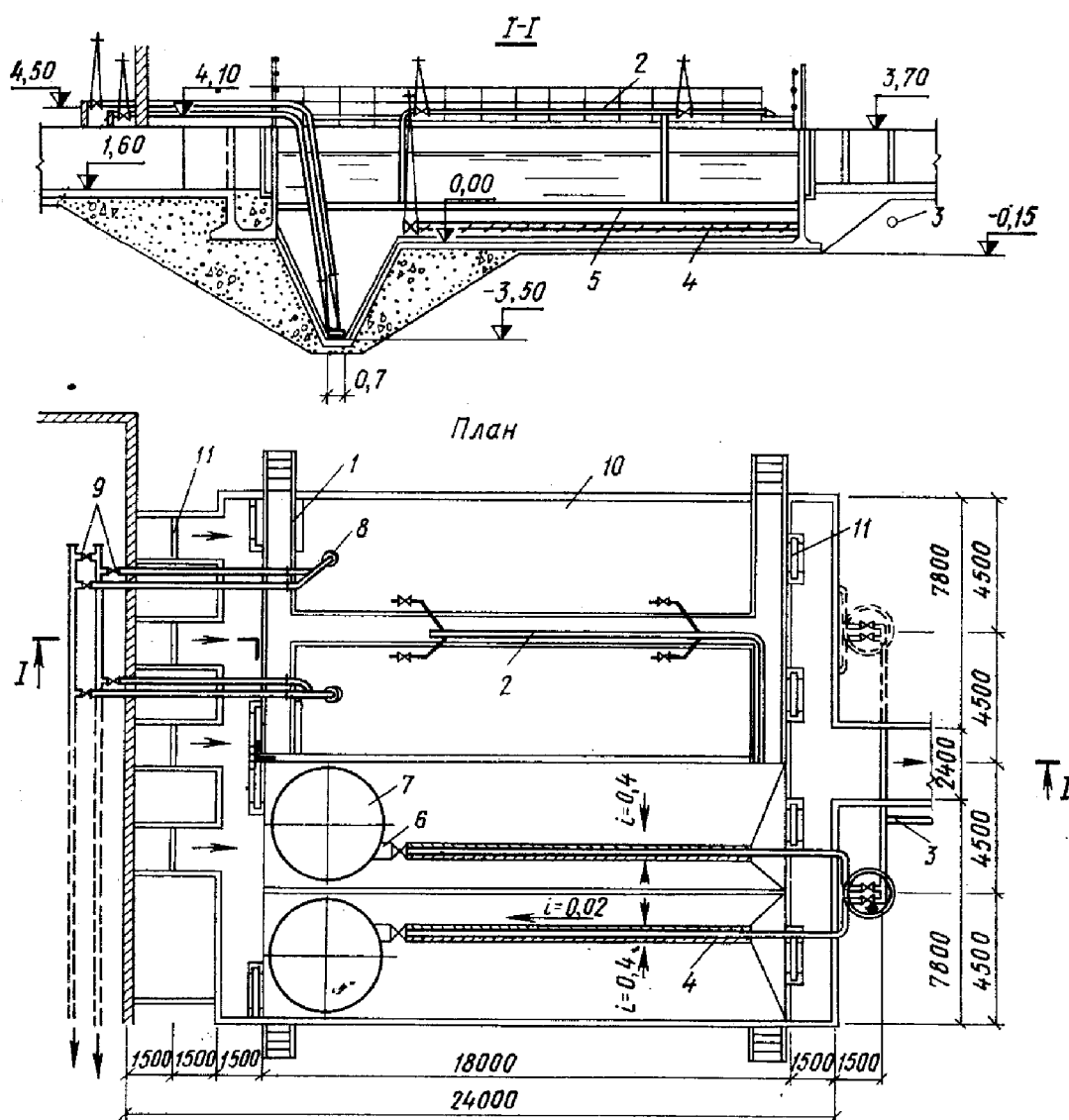


Рис. 8. Аэрируемая песколовка с гидромеханическим удалением песка:

I – отражательные щиты; 2 – воздуховод; 2 – трубопровод для гидросмыва; 4 – смывной трубопровод со sprысками; 5 – аэраторы; 6 – песковой лоток; 7 – песковой бункер; 8 – гидроэлеваторы; 9 – задвижки; 10 – отделение песколовки; 11 – щитовые затворы

Поступательное движение в них создается за счет подачи воды в песколовки с одной стороны и отвода с другой. Вращательное движение воды обеспечивается аэрацией потока, которую создает аэратор, установленный с одной из длинных сторон песколовки на расстоянии 45 – 60 см от дна, а под ним размещен лоток для сбора песка. В поперечном сечении днище имеет уклон $i = 0,2 - 0,4$ к песковому лотку. Вследствие наложения поступательного и вращательного движений в аэрируемых песколовках, как и в тангенциальных, возникает винтовое движение жидкости.

В качестве аэраторов можно применять дырчатые трубы с отверстиями 3 – 5 мм или фильтросные пластины. Аэраторы устанавливаются по всей длине каждой секции песколовки вдоль одной из ее стенок. Выпавший песок сгребается к приемку, устроенному в начале песколовки, откуда удаляется гидроэлеватором. В аэрируемых песколовках может быть создана такая скорость вращательного движения, при которой исключается выпадение в осадок органических веществ. Поступательную скорость в аэрируемых песколовках рекомендуется принимать равной 0,08 – 0,12 м/с и вращательную – 0,25 – 0,3 м/с. Вследствие большой разницы между поступательной и вращательной скоростями движения суммарная скорость в песколовке оказывается практически постоянной и равной 0,3 м/с даже при значительном колебании расходов. Указанная вращательная скорость достигается при интенсивности аэрации 3 – 5 м³/(м²·ч). Время пребывания воды в аэрируемых песколовках рекомендуется назначать 2 – 3 мин. Зольность осадка в аэрируемых песколовках равна 90 – 95 % и выше.

Для приема песка в верхней части пескового лотка имеется щель, которая перекрывается клапанами снизу при смыве песка за счет повышения давления в лотке. Смывной трубопровод диаметром 159 мм уложен по середине лотка. С двух сторон нижней половины трубы через 0,4 м приварены spryski диаметром 10 мм, направленные в сторону выгрузки осадка. Из пескового бункера гидроэлеваторами песок подается на отмывку в гидроциклоны, расположенные над бункером. Вода из гидроциклона сбрасывается перед песколовкой. Общая глубина аэрируемой песколовки принимается равной 0,7 – 3,5 м.

Песковые площадки и бункера. Песок, задержанный в песколовках, чаще всего удаляется с помощью гидроэлеваторов и затем в виде песчаной пульпы перекачивается на специально устраиваемые песковые площадки. Песковые площадки – это земельные площадки, разбитые на карты с ограждающими валиками высотой 1 – 2 м (рис. 9). Размеры площадок определяются из условия напуска песка слоем 3 м³/м² в год с периодической вывозкой подсушенного песка. Профильтрованная вода собирается и перекачивается в канал перед песколовками.

На станциях производительностью до 75 000 м³/сут для отмывки песка от органических загрязнений и его обезвоживания можно устраивать круглые песковые бункера с впуском в них пульпы по касательной. Обезвоженный песок выгружается в автомашины и вывозится. Песок можно отмывать в напорных гидроциклонах диаметром 300 мм. Бункера, расположенные вне здания, зимой должны обогреваться горячей водой.

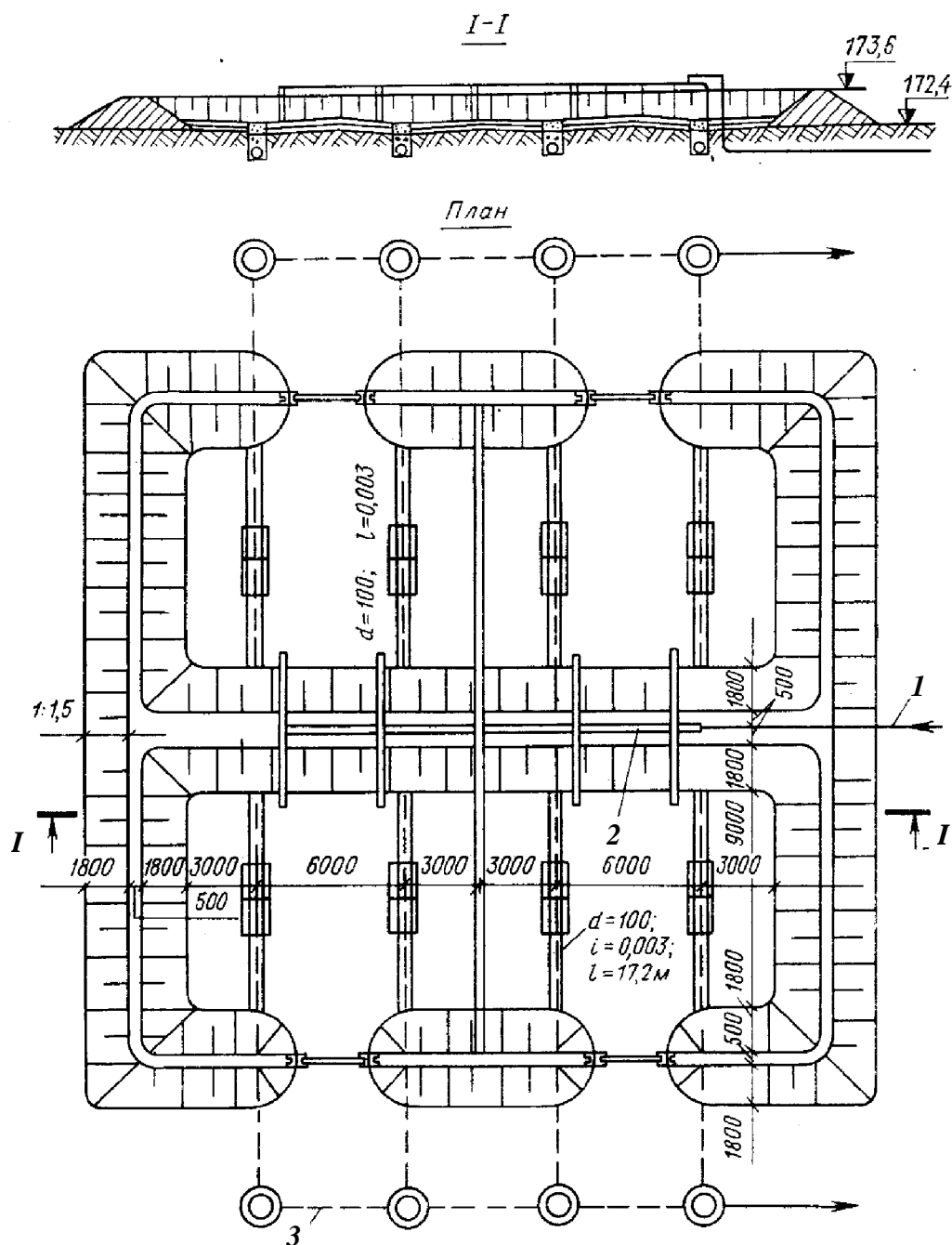


Рис. 9. Песковая площадка:

1 – пескопровод; 2 – разводящий лоток; 3 – трубопровод для отвода дренажной воды

Пример расчета горизонтальной песколовки. Определить размеры горизонтальной песколовки для очистки сточных вод города с населением 200 000 жителей при $q_{\max}=0,75 \text{ м}^3/\text{с}$ и $q_{\min}=0,25 \text{ м}^3/\text{с}$. Глубина воды в подводящем канале при максимальном расходе $h = 0,9 \text{ м}$. В песколовке должны быть задержаны частицы песка диаметром 0,25 мм; гидравлическая крупность их

$u_0=0,0242$ м/с (по табл. 2). Скорость в песколовке при максимальном расходе принимаем $V_{\max}=0,3$ м/с.

Для принятых условий $w = 0,05V_{\max} = 0,05 \cdot 300 = 15$ мм/с. Определяем скорость осаждения песка расчетной хрупкости по формуле

$$u = \sqrt{u_0^2 - w^2} = \sqrt{24,2^2 - 15^2} = 19 \text{ мм/с.}$$

Глубину проточной части песколовки при максимальном расходе принимаем равной h . Тогда длина песколовки будет равна

$$L = \frac{V_{\max} h}{u} = \frac{0,3 \cdot 0,9}{0,019} = 14,2 \text{ м.}$$

Принимаем длину песколовки $L = 15$ м. Площадь зеркала воды песколовки определяем по формуле

$$F = \frac{q_{\max}}{u} = \frac{0,75}{0,019} = 39,5.$$

Ширину песколовки определяем по формуле

$$B = \frac{q}{Vh} = \frac{0,75}{0,3 \cdot 0,9} = 2,7 \text{ м.}$$

Принимаем два рабочих и одно резервное отделение шириной $b = 1,35$ м каждое.

Количество осадка при норме 0,02 л/сут. на одного человека:

$$W_{\text{общ}} = \frac{P \cdot T \cdot N}{1000} = \frac{0,02 \cdot 1 \cdot 200\,000}{1000} = 4 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Общее количество удаляемого из песколовки осадка при объемном весе его $1,5 \text{ т/м}^3$

$$W_{\text{вес}} = 1,5 \cdot W_{\text{общ}} = 1,5 \cdot 4 = 6 \text{ т/сут.}$$

Потери напора при входе воды в песколовку и при выходе из нее определяются специальным расчетом; в среднем для горизонтальной песколовки они составляют 10 – 15 см.

Пример расчета аэрируемой песколовки. Определить размеры аэрируемой песколовки для станция производительностью 100 000 м³/сут.

Принимаем $V_{\text{пост}}=0,1$ м/с и определяем общее сечение песколовки по формуле

$$S_{\text{общ}} = \frac{Q}{V} = \frac{100000}{85400 \cdot 0,1} = 11,6 \text{ м}^2$$

Принимаем два рабочих отделения, сечение каждого будет равно

$$S_{\text{отд}} = \frac{11,6}{2} = 5,8 \text{ м}^2.$$

Отношение ширины к глубине примем $b/h = 1$. Тогда $b \cdot H = S$ или $H^2 = S_{\text{отд}}$. Отсюда $H = b = \sqrt{S_{\text{отд}}} = \sqrt{5,8} = 2,4 \text{ м}$.

Размеры одного отделения песколовки с учетом уклона дна к песковому лотку принимаем: $H_{\text{max}} = 2,5 \text{ м}$ и $b = 2,4 \text{ м}$.

Глубина осаждения песчинки расчетной крупности $d = 0,2 \text{ мм}$ с $u_0 = 0,017 \text{ м/с}$ для частиц песка диаметром $0,2 \text{ мм}$ при одном обороте вращения равна

$$h = \frac{bu_0}{V} = \frac{2,4 \cdot 0,0171}{0,1} = 0,41 \text{ м},$$

$$\frac{h}{h_p} = \frac{h}{0,5H} = \frac{0,41}{1,2} = 0,34,$$

где h_p – расчетная глубина, равная $0,5 H$.

Для достижения 90 % (практически полного) улавливания песка расчетной крупности поток должен совершить $n = 5,8$ оборота вращения. Продолжительность одного оборота вращения жидкости определяется по формуле

$$t_1 = \frac{\pi \cdot H + 2(b - H)}{V_1} = \frac{\pi \cdot H + 2(H - H)}{V_1} = \frac{\pi \cdot H}{V_1} = \frac{3,14 \cdot 2,4}{0,3} = 25,1 \text{ с},$$

где V_1 – горизонтальная скорость движения воды в песколовке.

Продолжительность пребывания жидкости в песколовке должна быть равна

$$t = n \cdot t_1 + t_2 = 5,8 \cdot 25,1 + 10 = 155,5 \text{ с},$$

где t_2 – время на ввод воды в песколовку (до начала вращения)

n – количество оборотов вращения.

Длина песколовки определяется по формуле

$$L = t \cdot V_{\text{пост}} = 155,5 \cdot 0,1 = 15,6 \text{ м} \approx 15 \text{ м}.$$

2.3. Первичные отстойники

Отстойники применяют для предварительной очистки сточных вод, если по местным условиям требуется их биологическая очистка, или как самостоя-

тельные сооружения, если по санитарным условиям вполне достаточно выделить из сточных вод только механические примеси.

В зависимости от назначения отстойники подразделяются на **первичные**, которые устанавливают до сооружений биологической обработки сточных вод, и **вторичные**, которые устанавливают после этих сооружений.

По конструктивным признакам отстойники подразделяются на горизонтальные, вертикальные и радиальные. К отстойникам условно могут быть отнесены и осветлители. В них одновременно с отстаиванием происходит фильтрация сточных вод через слой взвешенных веществ.

2.3.1. Горизонтальные отстойники

В горизонтальных отстойниках жидкость движется почти горизонтально – вдоль отстойника, в вертикальных она движется снизу вверх, а в радиальных – от центра к периферии (рис. 10).

Горизонтальный отстойник представляет собой резервуар (обычно прямоугольный в плане), состоящий из нескольких отделений (два и более); вода подводится в торцевую (переднюю) часть, проходит вдоль отстойника до противоположного конца и, осветленная, сливается в отводной канал.

Расчет горизонтальных отстойников состоит в определении размеров его проточной (рабочей) и осадочной частей. Для небольших станций очистки бытовых сточных вод расчет следует выполнять по времени отстаивания t при максимальном расходе q_{\max} .

Это время принимается от 0,5 до 1,5 ч в зависимости от способа последующей биологической очистки. Наибольшая скорость движения воды в отстойнике V принимается 7 мм/с. Объем рабочей части отстойника, m^3 , вычисляют по формуле

$$W = q_{\max} \cdot t. \quad (2.10)$$

Определив площадь сечения, m^2 , по формуле

$$\omega = q_{\max} \cdot V, \quad (2.11)$$

находят длину отстойника, м,

$$L = W/\omega. \quad (2.12)$$

Задавшись глубиной рабочей части H , которую обычно принимают в пределах 1,5 – 4 м, и числом отделений n определяют ширину, м, одного отделения отстойника

$$b = \frac{W}{nH}, \quad (2.13)$$

причем соотношение между длиной и шириной одного отделения отстойника должно быть в пределах 8 – 12.

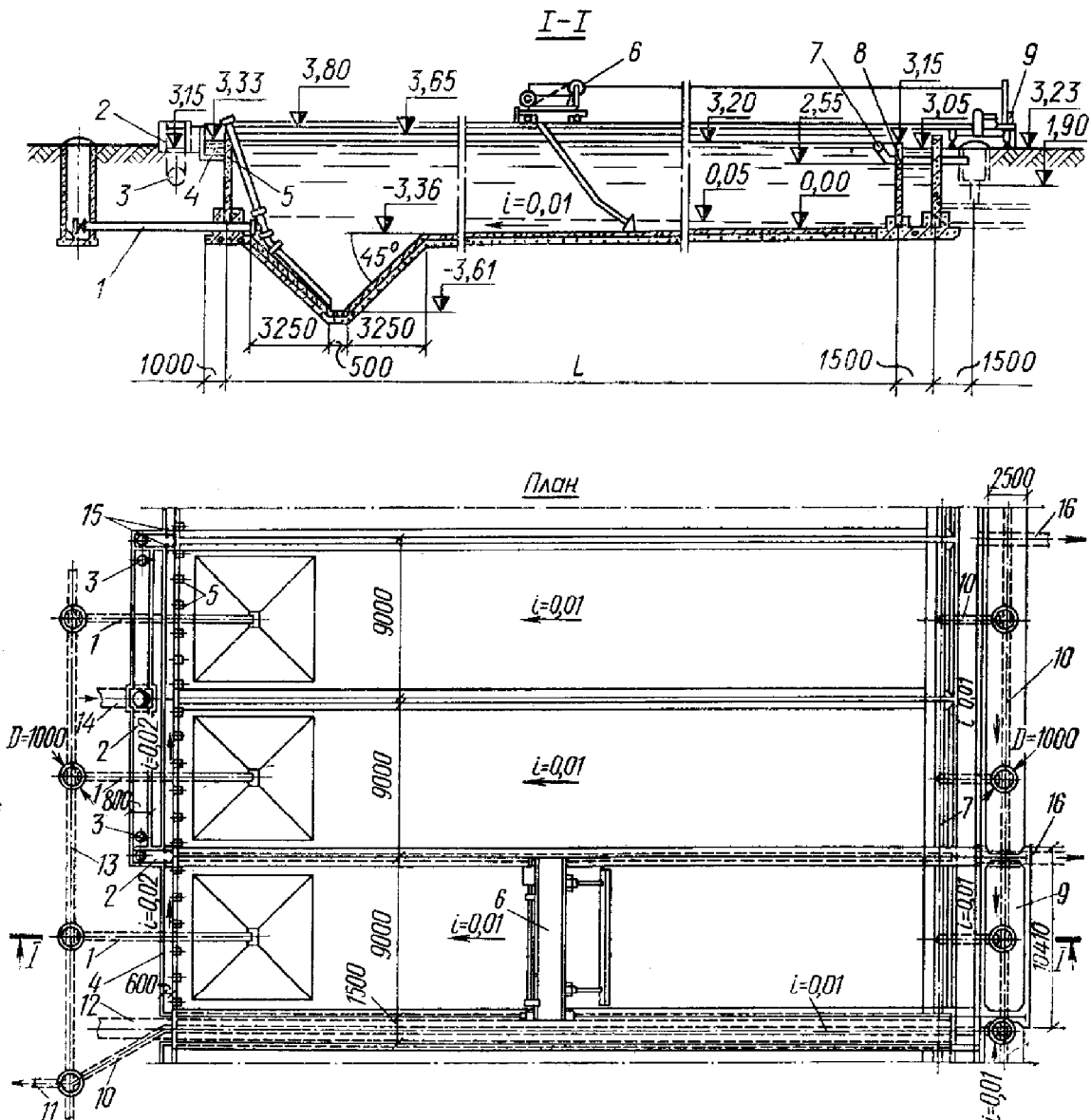


Рис. 10. Горизонтальный отстойник из сборного железобетона:

1, 11, 13 – трубопроводы для отвода сырого осадка, жира и опорожнения; 2 и 4 – лотки площадью сечения соответственно 800×900 и 600×900 мм; 3 и 14 – дюкеры для подачи исходной сточной воды; 5 – впускные отверстия; 6 – скребковая тележка; 7 – жиросборный лоток; 8 – ребро водослива; 9 – фронтальная тележка; 10 – жиропровод; 12 – аварийный дюкер; 15 – шиберы 400×600 мм; 16 – дюкер для отвода осветленной воды

Для средних и крупных очистных станций (производительностью более 20 000 м³/сут) расчет следует производить по необходимому эффекту осветления.

Допуская, что скорость u_0 осаждения взвешенных частиц определенной крупности постоянна в продолжение всего времени их выпадения и что скорость движения воды в отстойниках во всех точках его поперечного сечения одинакова, находим

$$L = H \frac{V}{u_0}. \quad (2.14)$$

Скорость выпадения взвешенных веществ u_0 в покое находят опытным путем. Значение u_0 может быть найдено из графика кинетики осаждения взвешенных веществ (рис. 11). Если известно допустимое по условиям водоема содержание взвешенных веществ в спускаемых сточных водах $C_{оч}$, мг/дм³, а также содержание взвешенных веществ в сточных водах, поступающих на очистную станцию $C_{пост}$, мг/дм³, то можно определить необходимый эффект \mathcal{E} , %, по формуле

$$\mathcal{E} = \frac{C_{пост} - C_{оч}}{C_{пост}} 100 \%. \quad (2.15)$$

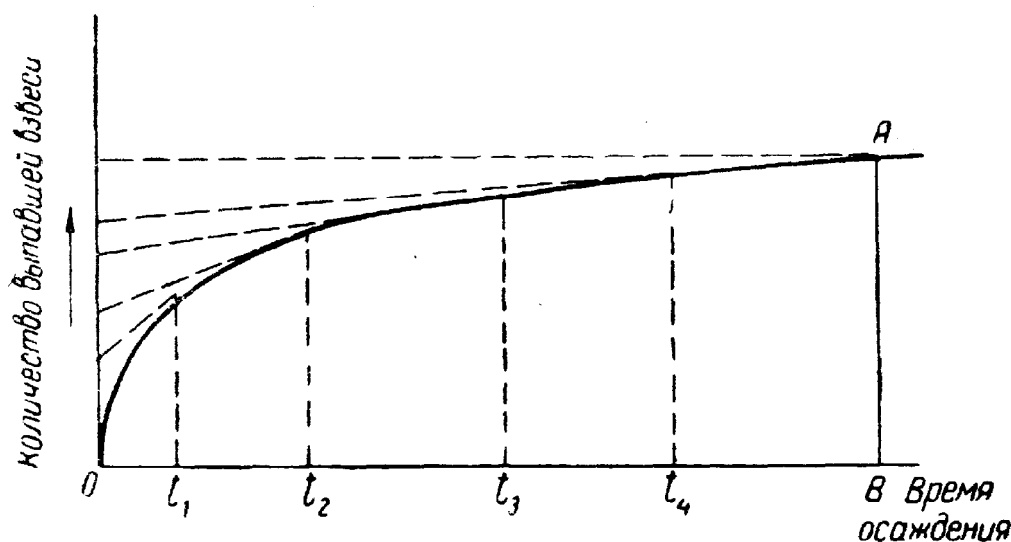


Рис. 11. График осаждения полидисперсной системы

При турбулентном режиме движения жидкости ухудшаются условия осаждения взвешенных веществ, так как падение частиц на дно тормозится образующейся при этом вертикальной составляющей пульсации потока. Действительная скорость осаждения взвешенных веществ в отстойнике будет меньше определенной в лабораторных условиях величины u_0 и равна $u_0 - w$. Величина вертикальной составляющей турбулентного потока w зависит от многих факторов и в первую очередь от глубины отстойника и скорости движения жидкости.

Таким образом, расчетную длину отстойника определяют исходя из тех же условий, что и при расчете по времени отстаивания

$$L = \frac{V}{u_0 - w} H. \quad (2.16)$$

Иногда отстойники рассчитывают по нагрузке, т. е. по количеству сточной жидкости, м³, приходящейся на 1 м³ поверхности водного зеркала отстойника в 1 ч. Эту величину назначают по данным эксплуатации аналогичных отстойников, дающих более или менее удовлетворительный эффект осветления. Обычно нагрузку принимают 1 – 3 м³/ч на 1 м² поверхности отстойника.

Кроме размеров проточной части отстойников (H, L, B), в пределах которой

осаждаются взвешенные вещества, необходимо также определить объем осадочной части отстойника. Количество выпавшего осадка в первичных отстойниках для бытовых сточных вод составляет $0,8 \text{ дм}^3/\text{сут}$ на одного человека. Влажность выгружаемого осадка зависит от способа его удаления: при самотечном удалении осадка она принимается равной 95 %, а при механизированном – 93 %.

Для городских сточных вод количество осадка, м^3 , выпадающего за сутки, может быть подсчитано по формуле

$$W = \frac{0,8N}{1000}, \quad (2.17)$$

где N – число жителей.

Для накапливания выпавшего осадка и периодической его выгрузки в начале отстойника устраивают приямки, объем которых зависит от конструкций отстойников и способов удаления ила. Наиболее распространенный способ – выдавливание осадка под гидростатическим напором воды, равным 1,5 м. В некоторых случаях выпавший осадок удаляют, откачивая его плунжерными насосами. Объем иловой части отстойников принимается равным двухсуточному объему выпадающего осадка (при механизированном удалении ила объем иловой части можно принимать равным 8-часовому объему выпадающего осадка). Чтобы осадок самотеком сползал к приямкам, днищу отстойника придают уклон не менее 0,02. В настоящее время горизонтальные отстойники проектируют со скребковыми механизмами для сгребания осадка к приямкам.

Дополнительная информация для расчета горизонтальных отстойников

1. Дырчатые перегородки (щелевые) устанавливают на расстоянии 1–2 м от торцевых стенок.

2. V в отверстиях равна 0,3 – 0,5 м/с.

3. В нижней части перегородок, на 0,3 – 0,5 м выше зоны накопления и уплотнения осадка, отверстий не устраивают.

4. Дно у отстойников с механическим удалением осадка проектируют с уклоном 0,004 в направлении, противоположном движению воды.

Для отстойников, не имеющих механизмов удаления осадков, дно устраивают с продольным уклоном не менее 0,02, с поперечными уклонами в каждом коридоре не менее 0,05. Время опорожнения отстойника не должно превышать 6 ч.

5. В отстойниках с периодическим выпуском осадка, но без остановки их на очистку, на дне в лотках располагаются дренажные трубы, уклон дна должен быть не менее 0,005.

6. Скорость выпадения взвеси U_0 следует принимать на основании результатов технологических опытов, а также опыта работы сооружений в аналогичных условиях.

7. При отсутствии этих данных рекомендуется использовать величины из табл. 3.

8. Суммарную площадь горизонтальных отстойников в плане F определяем по формуле

$$F = \frac{\alpha \cdot q}{3,6 \cdot U_0}, \quad (2.18)$$

где q – расчетный расход осветленной воды, м³/ч;

U_0 – скорость выпадения взвеси, задерживаемой взвеси, мм/с;

α – коэффициент, учитывающий взвешивающее влияние вертикальной составляющей скорости потока в отстойнике.

Значение коэффициента α вычисляют по формуле

$$\alpha = \frac{U_0}{U_0 - \frac{V_{\text{ср}}}{30}} = \frac{1}{1 - \frac{K}{30}} = \frac{1}{1 - \frac{12}{30}} = 1,67, \quad (2.19)$$

или принимают по табл. 4:

$$V_{\text{ср}} = K \cdot U_0,$$

где $V_{\text{ср}}$ – средняя горизонтальная скорость движения воды в отстойнике, 3 – 12 мм/с;

K – коэффициент, зависящий от принятого отношения длины L отстойника к его глубине H .

Таблица 3

Скорость осаждения взвеси, задерживаемой в отстойнике

Характеристика исходной воды и метод обработки	U_0 , мм/с	Средняя горизонтальная скорость движения воды в отстойниках $V_{\text{ср}}$ при значениях K , равных			
		7,5	10	12	13,5
Цветные воды, содержащие до 50 мг/дм ³ взвешенных веществ; обработка коагулянтom	0,35–0,45	2,6	3,5	4,2	4,7
		3,4	4,5	5,4	6,1
Мутные воды, содержащие от 50 до 250 мг/дм ³ взвешенных веществ; обработка коагулянтom	0,45–0,50	3,4	4,5	5,4	6,1
		3,8	5,0	6,0	6,8
Мутные воды, содержащие более 250 мг/дм ³ взвешенных веществ; обработка коагулянтom	0,50–0,60	3,8	5,0	6,0	6,8
		4,5	6,0	7,2	8,1
Мутные воды, не обработанные коагулянтom	0,12–0,15	0,9	1,2	1,4	1,6
		1,1	1,5	1,8	2,0

Примечание. В случае применения флокулянтов при коагуляции U_0 увеличивают на 20 – 30 %.

Таблица 4

Значение коэффициентов K и α

L/H	10	15	20	25
K	7,5	10,0	12,0	13,5
α	1,33	1,50	1,67	1,82

9. Расчетная ширина отстойника B , м, определяется по формуле:

$$B = \frac{q}{3,6 \cdot V_{\text{ср}} \cdot H \cdot N}, \quad (2.20)$$

где H – средняя глубина зоны осаждения, м;

N – расчетное число отстойников.

В зависимости от высотной схемы станции обработки воды среднюю глубину зоны осаждения H принимают 2,5 – 3,5 м с учетом дополнительной высоты для приема воды при включении фильтров на промывку.

10. При определении количества отстойников следует учитывать необходимость отключения их для планового ремонта и чистки.

11. Если ширина отстойника получается больше 6 м, каждый из них делится направляющими перегородками на вертикальные коридоры шириной 3 – 6 м.

12. Расчетная длина горизонтального отстойника определяется по формуле, м

$$L = \frac{F}{B \cdot N}. \quad (2.21)$$

13. Для отстойников с гидравлическим способом удаления осадка или удалением его при опорожнении объем зоны накопления и уплотнения осадка $W_{ос}$ определяем по формуле:

$$W_{ос} = \frac{T \cdot q(c_v - m)}{N \cdot \delta}, \quad (2.22)$$

где T – время работы отстойника между сбросами осадка (не менее 12 часов);

δ – средняя концентрация уплотненного осадка, г/м³ (табл. 5);

c_v – средняя концентрация взвешенных веществ в воде, поступающей в отстойник за период между чистками, г/м³;

m – концентрация взвеси в осветленной воде (8–12 г/м³).

Таблица 5

Средняя концентрация уплотненного осадка (δ)

Содержание взвешенных веществ в исходном виде, мг/дм ³	Средняя концентрация осадка, г/м ³ после уплотнения в течение часов					
	3	4	6	8	12	24 и более
До 50	4 500	5 500	6 000	6 500	7 500	10 000–15 000
50 – 100	6 500	7 500	8 000	8 500	9 500	15 000–30 000
100 – 400	19 000	21 500	24 000	25 000	27 000	30 000–50 000
400 – 1 000	24 000	25 000	27 000	29 000	31 000	50 000–70 000
1 000 – 2 500	29 000	31 000	33 000	35 000	37 000	70 000–90 000
При безреагентной обработке	–	–	–	–	–	150 000

Средняя концентрация взвешенных веществ в воде, поступающей в отстойник за период между чистками, определяется по формуле:

$$c_v = M + K \cdot D_k + 0,25ц + B_{и}, \quad (2.23)$$

где M – концентрация взвешенных веществ в воде, поступающей на очистные сооружения, мг/дм³;

K – коэффициент, учитывающий количество нерастворимых веществ, вносимых коагулянтom и образующихся при его гидролизе (для очищенного $Al_2(SO_4)_3$ равен 0,5, для неочищенного – 1,2, для $FeCl_3$ – 0,8);

D_k – доза коагулянта при расчете на безводный продукт, мг/дм³;

$ц$ – цветность исходной воды, град;

$B_{и}$ – количество нерастворимых примесей, вносимых с известью, мг/дм³.

$$B_{и} = \frac{D_{и}}{K_{и} - D_{и}}, \quad (2.24)$$

где $K_{и}$ – долевое содержание CaO в извести;

$D_{и}$ – доза извести по CaO, г/м³.

14. Объем зоны накопления и уплотнения осадка в первой половине отстойника должен приниматься в пределах 70 – 80 % общего объема всей зоны. Высота этой зоны должна быть наибольшей в начале и минимальной в конце.

15. Количество воды, в процентах от расхода обрабатываемой воды, потребляемой при очистке горизонтального отстойника гидравлическим способом или опорожнением, может быть вычислено по формуле

$$P_{г.о} = \frac{K_p \cdot W}{24q \cdot T} \cdot 100 \%, \quad (2.25)$$

где K_p – коэффициент разбавления осадка (при опорожнении отстойника $K_p=1,1$, при гидравлическом способе удаления осадка $K_p=1,2 \div 1,5$);

W – объем отстойника или зоны накопления осадка, в зависимости от способа очистки отстойника, м³;

q – расчетный расход воды, м³/ч;

T – продолжительность работы отстойника между чистками, ч (не менее 12 ч).

2.3.2. Вертикальные отстойники

Вертикальные отстойники представляют собой круглые, квадратные или многоугольные в плане резервуары с конусным или пирамидальным днищем. Вертикальные отстойники обычно предусматривают на станциях производительностью до 50 000 м³/сут, а чаще – до 20 000 м³/сут и при низком уровне грунтовых вод.

Сточная жидкость подводится к низу рабочей части отстойника по центральной трубе (рис. 12). После выхода из трубы сточная жидкость движется снизу вверх к сливным желобам, по которым поступает в отводной лоток. Во время движения сточной жидкости по отстойнику из нее выпадают взвешенные вещества, удельный вес которых больше удельного веса воды.

При расчете отстойников для бытовых сточных вод проточную скорость принимают не более 0,7 мм/с, а время отстаивания – таким же, как и для горизонтальных отстойников. Рассчитывая отстойники по заданному расходу q , времени отстаивания, определяют необходимый объем, м³, рабочей части отстойника

$$W = qt. \quad (2.26)$$

Высоту рабочей части отстойника, м, определяют по формуле

$$H = Vt. \quad (2.27)$$

Затем находят площадь живого сечения, м²

$$F = W/H \quad (2.28)$$

и диаметр отстойника, м

$$D = \sqrt{\frac{4(F + f)}{n}}, \quad (2.29)$$

где f – площадь живого сечения центральной трубы, определяемая по формуле

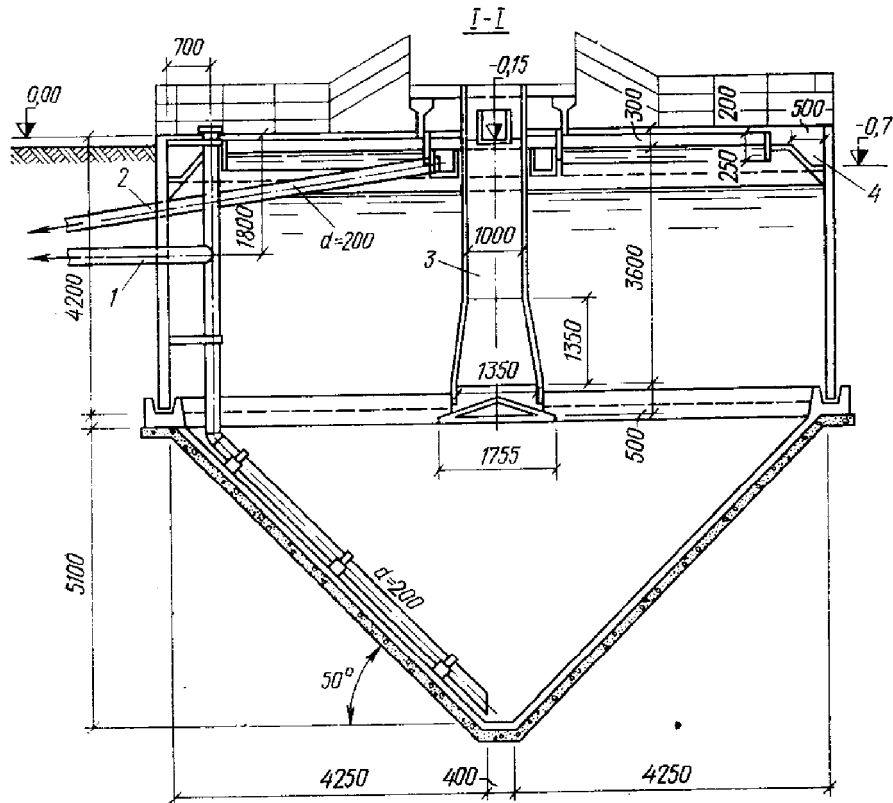
$$f = q/V_{ц.тр} \quad (2.30)$$

в зависимости от скорости потока жидкости в трубе. Эта скорость должна быть равна 0,03 м/с.

Профессор С. М. Шифрин на основе результатов многочисленных опытов и теоретических исследований предложил новый метод расчета вертикальных отстойников. Наблюдения за распределением сточной жидкости по отстойнику показали, что жидкость, выйдя из щели между раструбом центральной трубы и отражательным щитом, движется радиально к стенкам отстойника, а затем поднимается вверх вдоль стенок с относительно большими скоростями. Взвешенные вещества выпадают на горизонтальном пути движения жидкости от центра отстойника к периферии за счет растекания струи и уменьшения скорости движения. Чем мельче те частицы, которые должны быть выделены из сточной жидкости, тем больше должен быть радиус отстойника, представляющий собой основную расчетную величину.

При расчете отстойников по методу С. М. Шифрина вначале по необходимому эффекту осветления при заданной концентрации взвесей в сточной воде находят по графику (рис. 13) гидравлическую крупность u_0 частиц, которые должны быть задержаны в отстойнике. Затем по найденной гидравлической крупности по графику (рис. 14) определяют радиус отстойника в зависимости от средней скорости входа сточной жидкости в отстойник (скорость в сечении между раструбами центральной трубы и отражательным щитом), принимаемой равной 1,2 см/с. Диаметр центральной трубы d рассчитывают по скорости нисходящего движения воды в ней, равной 30 мм/с. Длину трубы и равную ей высоту цилиндрической части отстойника принимают не менее 2,75 м.

Для более или менее равномерного распределения жидкости по отстойнику и для предохранения выпавшего осадка от размывания под центральной трубой устанавливают отражательный щит. Рекомендуемые размеры раструба центральной трубы и отражательного щита, а также взаимное их размещение показаны на рис. 15. Угол наклона поверхности щита к горизонту 17°.



План

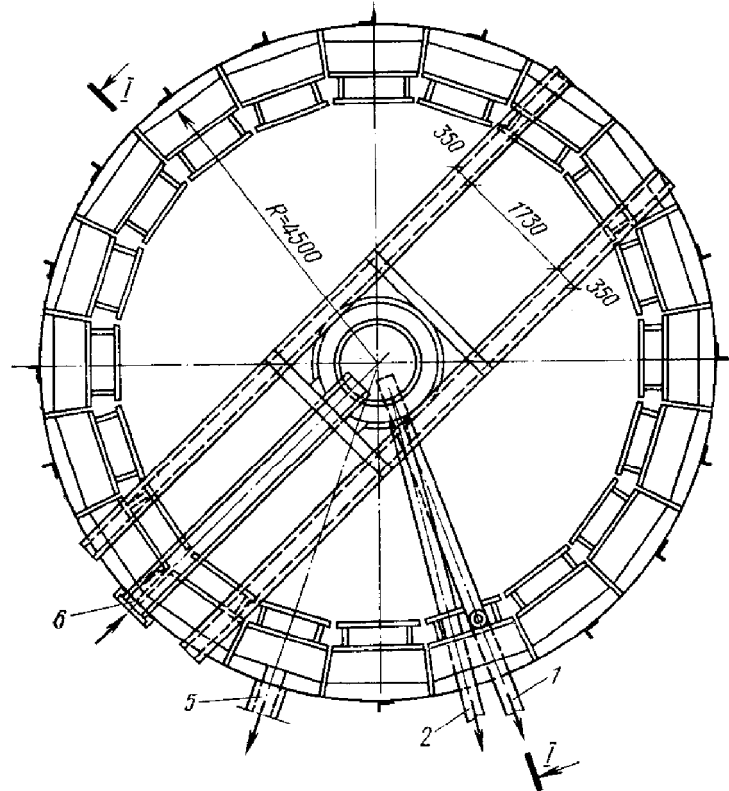


Рис. 12. Вертикальный отстойник диаметром 9 м из сборного железобетона:
 1 – выпуск ила; 2 – выпуск корки; 3 – центральная труба с отражателем; 4 – водосборный желоб; 5 – отводящий лоток; 6 – подводящий лоток

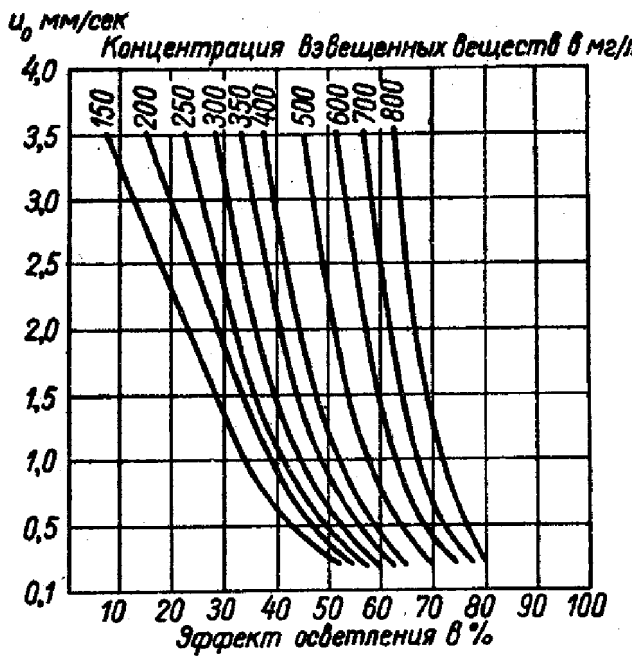


Рис. 13. График зависимости эффекта осветления в вертикальных отстойниках от минимальной гидравлической крупности осаждаемых частиц и начальной концентрации взвесей в сточной жидкости

Равномерному распределению жидкости способствуют увеличение площади отводящих желобов, обеспечение определенных соотношений между глубиной рабочей части отстойника h и его диаметром D . В частности, диаметр отстойника не должен быть больше $3h$. Вертикальные отстойники диаметром более 9 м не делают. Общая высота вертикального отстойника H складывается из высоты его рабочей части h_1 , расстояния от конца раструба центральной трубы до отражательного щита h_2 , нейтрального слоя h_3 , высоты иловой части h_4 и превышения борта отстойника над уровнем жидкости h_5 ,

$$\text{т. е. } H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5. \quad (2.31)$$

Величину h_2 принимают равной 0,25 – 0,5 м. Нейтральный слой имеет то же значе-

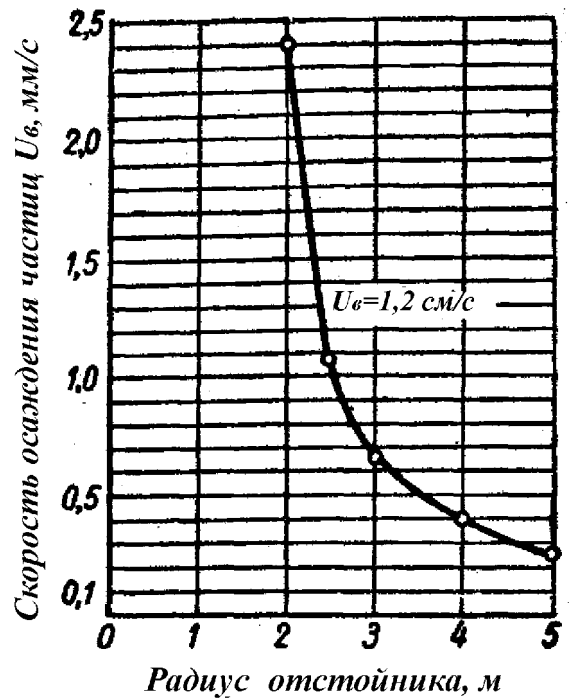


Рис. 14. График для расчета вертикальных отстойников по методу С.М. Шифрина

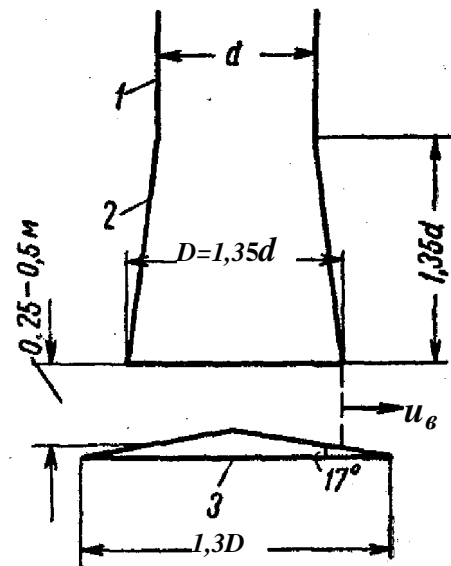


Рис. 15. Выпускное отверстие вертикального отстойника (по С.М. Шифрину):
1 – центральная труба;
2 – раструб;
3 – отражательный щит

ние, что и в горизонтальных отстойниках; высоту его обычно принимают равной 0,3 м, считая от низа отражательного щита до расчетного уровня ила. Величину h_5 принимают равной 0,3 м.

Ил следует удалять не реже 1 – 2 раз в сутки, поэтому объем иловой части должен быть рассчитан на хранение ила в течение двух суток. Объем иловой камеры вертикальных отстойников определяют так же, как и для горизонтальных отстойников. Ил удаляется самотеком (под гидростатическим напором столба воды) через иловую трубу, опущенную до основания отстойника. Нижнюю часть иловой камеры делают конической или пирамидальной с углом наклона стенок к горизонту 50° для создания благоприятных условий сползания выпавшего осадка.

Осветленная вода отводится по сливному лотку (желобу), расположенному по периметру отстойника. На расстоянии 0,3 – 0,5 м от желоба устанавливают обычно полупогружную доску, которая задерживает всплывающие вещества. Для отстойников диаметром 6 м и более сборные желоба устраивают не только по периферии, но и радиально, что улучшает условия распределения воды в отстойнике и повышает эффект его работы.

Вертикальные отстойники делают из железобетона. Эффект осветления жидкости в таких отстойниках практически не превышает 40 %, хотя теоретический расчет проводится на эффект, равный 50 %.

Радиальные отстойники. Разновидностью горизонтального отстойника является радиальный отстойник (рис. 16), представляющий собой круглый неглубокий резервуар, вода в котором движется от центра к периферии.

Радиальные отстойники устраивают с выпуском воды снизу или сверху; и в том и в другом случае вода поступает в отстойник по центральной трубе, а осветленная вода сливается в круговой желоб, откуда она отводится по трубам или лоткам. Выпавший на дно осадок сгребается к центру скребками, укрепленными на подвижной ферме, и поступает в приямок, из которого под давлением столба воды высотой 1,5 м удаляется по трубам или отсасывается плунжерными насосами.

Радиальные отстойники применяют главным образом на крупных станциях очистки сточных вод. Диаметр отстойников может быть различным (от 18 до 54 м). Эти отстойники можно рассчитывать по нагрузке, принимая равной – $1,5 - 3,5 \text{ м}^3$ на 1 м^2 поверхности в 1 ч. Продолжительность отстаивания в зависимости от способа последующей биологической очистки колеблется от 0,5 до 1,5 ч. Влажность выгружаемого осадка равна 95 % при самотечном удалении и 93 % при удалении насосами. Обычно радиальные отстойники komponуются в блоки из четырех отстойников.

Обобщенный метод расчета первичных отстойников. По СНиП 2.04.03.85 расчет отстойников всех типов и конструкций проводится по единому методу – по кинетике выпадения взвешенных веществ с учетом необходимого эффекта осветления.

Длина горизонтальных отстойников, м, определяется по формуле

$$L = \frac{V \cdot H}{K \cdot u_0} \quad (2.32)$$

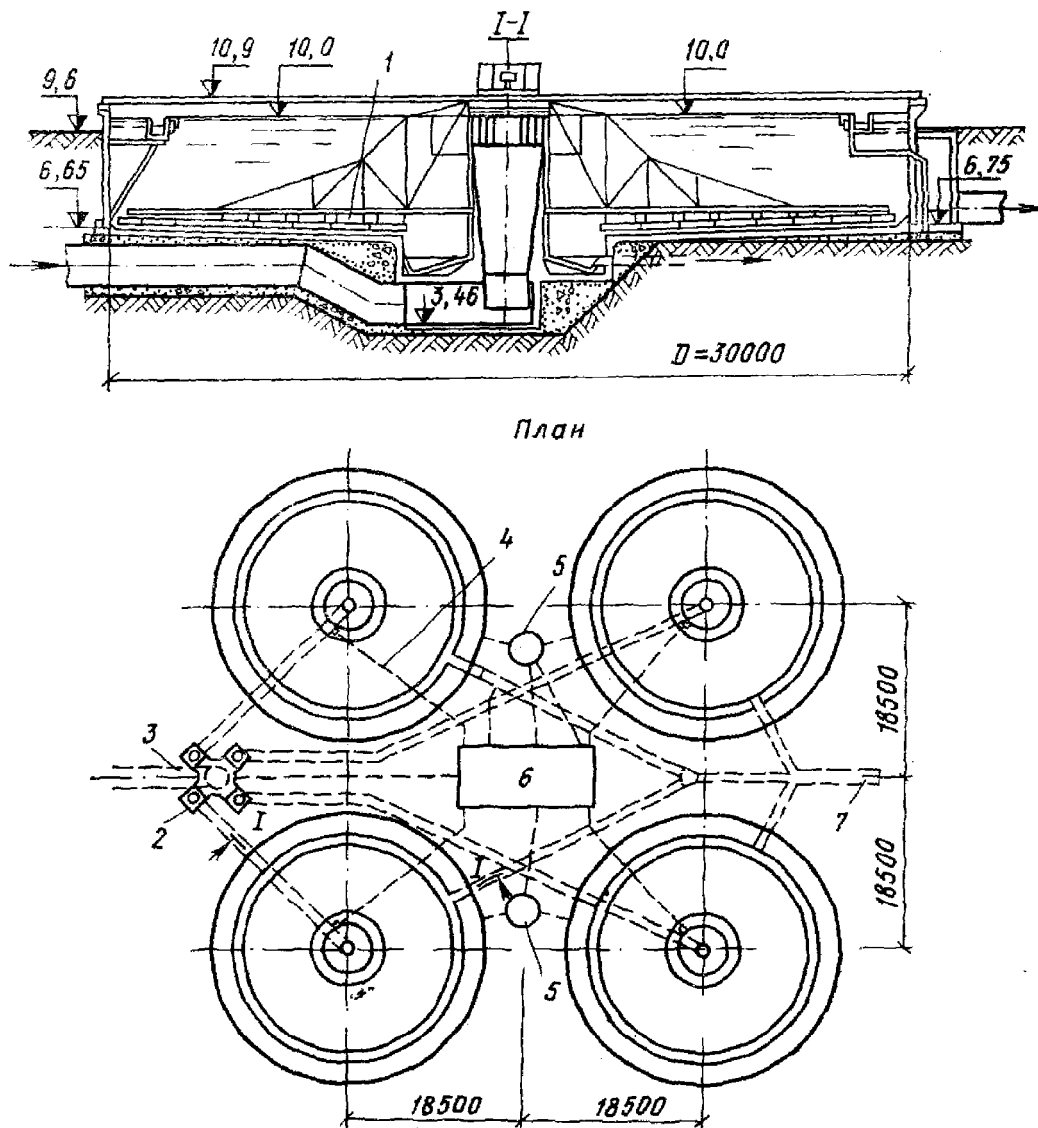


Рис. 16. Первичный радиальный отстойник:

1 – илоскреб; 2 – распределительная чаша; 3 – подводящий трубопровод; 4 – трубопровод сырого осадка; 5 – жироборник; 6 – насосная станция; 7 – отводящий трубопровод

Радиус, м, вертикальных, радиальных отстойников и отстойников с вращающимися сборно-распределительными устройствами вычисляют по формуле

$$R = \sqrt{\frac{Q}{3,6\pi \cdot K \cdot u_0}}, \quad (2.33)$$

где V – расчетная скорость движения в проточной части отстойника (для ра-

диальных отстойников в сечении на половине радиуса), принимается равной 5 – 10 мм/с; для вертикальных отстойников $V = 0$;

H – глубина проточной части отстойника (до нейтрального слоя), м;

K – коэффициент, зависящий от типа отстойника: для горизонтальных – 0,5, радиальных – 0,45, вертикальных – 0,35;

u_0 – гидравлическая крупность взвешенных частиц, мм/с.

Гидравлическая крупность определяется по формуле

$$u_0 = \frac{1000 \cdot K \cdot H}{a \cdot t \cdot (K \cdot H/h)^n} - \omega, \quad (2.34)$$

где a – коэффициент, учитывающий влияние температуры воды на ее вязкость, принимается равным:

Минимальная среднемесячная температура сточных вод, °С	60	50	40	30	25	20	15	10	5	0
a	0,45	0,55	0,66	0,8	0,9	1	1,14	1,3	1,5	1,8

t – продолжительность отстаивания в цилиндре со слоем воды, соответствующая заданному эффекту осветления, с; принимается по табл.6 или определяется экспериментально;

n – коэффициент, зависящий от свойств взвешенных веществ; принимается по табл.6 или определяется экспериментально;

ω – вертикальная составляющая скорости движения воды в отстойнике, принимаемая равной:

V , мм/с	5	10	15	20
ω , мм/с	0	0,05	0,1	0,5

После определения L и R следует проверить фактическую скорость V_ϕ , мм/с, в проточной части отстойника:

для горизонтальных отстойников $V_\phi = \frac{Q}{3,6 \cdot H \cdot B}$, (2.35)

где B – ширина отстойника, м, принимаемая равной $(2 - 5)H$;

для радиальных отстойников (в сечении на половине радиуса)

$$V_\phi = \frac{Q}{3,6\pi \cdot R \cdot H}. \quad (2.36)$$

При различии скоростей V_ϕ и V необходимо уточнить величины L и R .

**Продолжительность отстаивания сточных вод в покое
в зависимости от эффекта осветления**

Эффект осветления, %	Продолжительность отстаивания в цилиндре глубиной 500 мм для взвесей										
	коагулирующих ($n = 0,25$)				мелкодисперсных минеральных с плотностью 2 – 3 г/см ³ ($n = 0,4$)				для структурных тяжелых плотностью 5 – 6 г/см ³ ($n = 0,6$)		
	при концентрации, мг/дм ³										
	100	200	300	500	500	1000	2000	3000	200	300	400
20	600	300			150	140	100	40	–	–	–
30	900	540	320	260	180	150	120	50	–	–	–
40	1320	650	450	390	200	180	150	60	75	60	45
50	1900	900	640	450	240	200	180	80	120	90	60
60	3500	1200	970	680	280	240	200	100	180	120	75
70	–	3600	2600	1830	360	280	230	130	390	180	130
60	–	–	–	6260	1920	690	570	370	3000	580	380
90	–	–	–	–	–	–	1470	1080	–	–	–
100	–	–	–	–	–	–	3600	1850	–	–	–

Примечания: 1. Продолжительность отстаивания дана для температуры воды 20 °С. Для промежуточных значений концентраций взвешенных веществ и эффекта осветления продолжительность отстаивания определяется интерполяцией.

2. Кинетика осаждения взвешенных веществ из сточной воды и показатели степени n должны определяться при отстаивании в покое в сосудах диаметром не менее 120 мм.

2.3.4. Отстойники с тонкослойными модулями

Отстойники с тонкослойными модулями отличаются от обычных наличием в отстойной зоне блоков тонкослойных элементов (рис. 17), выполненных из параллельно установленных листов или пластин, расстояние между которыми составляет 0,025 – 0,1 м, т.е. значительно меньше, чем общая глубина отстойной зоны. Пластины в блоках устанавливаются под углом 45 – 70° к горизонту, что обеспечивает сползание осадка.

Тонкослойные отстойники отличаются от обычных более высокой производительностью (время осаждения взвеси 10 – 30 мин) и эффектом очистки (85 – 90 %), так как обеспечивают задержание не только грубодисперсных, но и тонкоэмульгированных частиц нефтепродуктов и взвеси. Они компактны и занимают значительно меньшую площадь (в 6 – 10 раз по сравнению с обычными отстойниками).

В тонкослойных отстойниках используются три схемы движения воды и выпавшего осадка:

- 1) перекрестная – когда осадок движется перпендикулярно направлению движения потока;
- 2) противоточная – когда осадок удаляется в направлении, противоположном движению потока;
- 3) прямоточная – когда направление движения потока и осадка совпадают.

Осадок сползает в иловой приямок, из которого периодически удаляется. Всплывающие вещества собираются в пазухе между секциями и удаляются погружающимся лотком, поворотными трубами.

Расстояние между блоками, а также между стенкой отстойника и блоком принимается из условий их монтажа и отведения задержанных загрязнений в зоне накопления и обычно составляет около 0,1 м. При проектировании следует принимать меры для предотвращения движения жидкости за пределами блоков (предусматривать отгибы пластин, проектировать специальные перегородки за пределами блоков).

Пример расчета. Выполнить расчет горизонтального отстойника с тонкослойными модулями для очистки талого и дождевого стока при следующих условиях:

расход сточных вод $Q = 17 \text{ м}^3/\text{ч}$;

концентрация взвеси в стоке – $150 \text{ мг}/\text{дм}^3$;

планируемый эффект очистки – 85 %;

скорость рабочего потока определяется по табл. 7 и 8.

Основные конструктивные размеры отстойника определяются формулами:

$$S_{\text{отс}} = Q/3,6V ; \quad (2.37)$$

где $S_{\text{отс}}$ – площадь сечения отстойника, м^2 ;

Q – расчетный расход = $17 \text{ м}^3/\text{ч}$;

V – средняя скорость рабочего потока = $1,2 \text{ мм}/\text{с}$ (принимается по табл.7).

$$B = S_{\text{отс}} / H_{\text{бл}}, \quad (2.38)$$

где B – общая ширина отстойника, м;

$H_{\text{бл}}$ – высота тонкослойных блоков = $2,0 \text{ м}$.

$$L = L_1 + L_6 + L_2 , \quad (2.39)$$

где L – общая длина отстойника, м;

L_1 – длина приемной камеры – $1,0 \text{ м}$;

L_6 – длина тонкослойных элементов – $2,0 \text{ м}$;

L_2 – длина выходной части отстойника – $1,0 \text{ м}$.

Таблица 7

Скорость рабочего потока в зависимости от эффекта удаления взвешенных веществ для дождевого стока (в числителе) и талого стока (в знаменателе)

Эффект осветления	Скорость течения (мм/с) при длине тонкослойных элементов, м		
	1,5	2,0	3,0
55	10/–	–	–
60	6,1/–	9/–	–
65	4,2/–	6/–	8,5/–
70	2,9/–	4,3/–	6,0/–
75	2,0/–	3,0/–	4,3/–
80	1,4/–	2,0/–	3,0/–
85	0,9/8	1,2/10	1,8/–
90	0,5/4,3	0,65/6,0	1,0/9,6
95	0,2/2,0	0,2/3,0	0,2/4,0

Таблица 8

Скорость рабочего потока в зависимости от эффекта очистки поверхностного стока от нефтепродуктов для дождевого стока (в числителе) и талого стока (в знаменателе)

Эффект осветления	Скорость течения (мм/с) при длине тонкослойных элементов, м		
	1,5	2,0	3,0
60	4,4/–	6,2/–	9,2/–
65	3,5/–	4,5/–	6,0/–
70	2,3/–	3,4/–	4,3/–
75	1,7/9,1	2,5/10,2	3,0/–
80	1,0/5,5	1,8/7,1	2,0/9,9
85	0,8/4,0	1,0/5,5	1,2/6,8
90	0,5/2,6	0,8/3,9	0,65/5,3
95	0,2/1,0	0,2/2,5	0,2/3,2

Таким образом, площадь сечения отстойника равна $4,0 \text{ м}^2$, а ширина тонкослойных блоков – 2,0 м.

Для сокращения высоты отстойника принимаем перекрестное движение воды и взвешенных веществ (взвесь, нефтепродукты).

При скорости течения 1,2 мм/с и длине тонкослойных элементов 2 м планируемый эффект осветления для дождевого и талого стоков будет 85 %.

Для сбора всплываемых нефтепродуктов следует запроектировать в отстойнике нефтесборную трубу и приемную емкость-накопитель для нефтепродуктов. Последние периодически должны вывозиться на утилизацию или регенерацию.

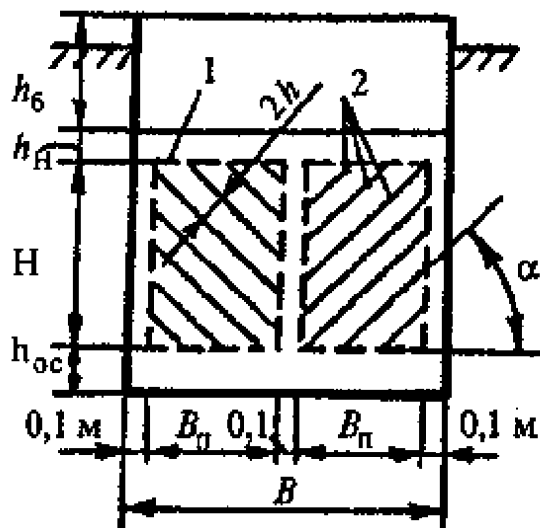


Рис. 17. Поперечное сечение тонкослойного нефтеловителя
 1 – блок тонкослойных элементов;
 2 – параллельно установленные пластины, образующие тонкослойные элементы

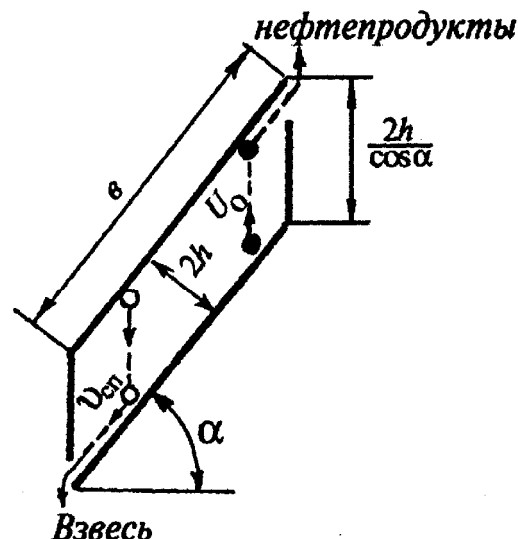


Рис. 18. Схема осаждения (всплывания) частиц в тонкослойном элементе

2.3.5. Расчет вторичных вертикальных отстойников

Информация

Вторичные отстойники предназначены для выделения из иловой смеси активного ила или биопленки.

1. Для бытовых сточных вод скорость подъема воды в первичном вертикальном отстойнике $V = 0,7$ мм/с, во вторичных вертикальных отстойниках скорость подъема воды принята после биофильтра $V \leq 0,5$ мм/с при $t_{отс} = 0,75$ ч, после аэротенков $V \leq 0,5$ мм/с при $t_{отс} = 1,5$ ч.

2. Продолжительность отстаивания – от 30 мин до 1,5 ч (табл.9).

3. Диаметр отстойника должен быть не более 10 м и не более чем в три раза превышать высоту зоны отстаивания. Влажность ила 97 – 98 %.

4. Высота центральной трубы по опыту проектирования принимается 2,7 – 3,8 м.

5. Выпускное отверстие из центральной трубы вертикального отстойника представлено на рис. 15. Для первичных отстойников $V = 20$ мм/с; для вторичных отстойников $V = 15$ мм/с.

6. Высота нейтрального слоя между низом отражательного щита и уровнем осадка 0,3 – 0,5 м.

7. Время пребывания активного ила в отстойной зоне вертикального отстойника после биофильтра не более 2 сут, после аэротенков – 2 ч.

**Продолжительность отстаивания
в зависимости от выноса взвешенных веществ**

Продолжительность отстаивания, ч	Вынос взвешенных веществ мг/дм ³ при БПК _{полн} очищенной жидкости, мг О ₂ /дм ³			
	15	20	25	50
0,5	25	31	38	75
0,75	21	27	33	66
1,0	18	24	29	59
1,5	15	20	25	51

Алгоритм расчета

1. Определяем гидравлическую нагрузку на вторичный отстойник, м³/м²·ч:

$$q_{ssa} = \frac{4,5 \cdot K_{ss} \cdot H_{set}^{0,8}}{(0,1 \cdot J_i \cdot a_i)^{0,5-0,01a_i}}, \quad (2.40)$$

где K_{ss} – коэффициент использования объема зоны отстаивания (0,35);
 a_i – концентрация АИ в аэротенке, г/дм³ (не более 15 г/дм³);
 a_t – концентрация АИ в осветленной воде, мг/дм³ (не менее 10 г/дм³);
 J_i – иловый индекс, см³/г.

2. Определяем производительность вертикального отстойника, м³/ч

$$q_{set} = 2,8 \cdot K_{set} (D_{set}^2 - d_{en}^2) \cdot (U_0 - v_{tb}), \quad (2.41)$$

где K_{set} – коэффициент использования объема отстойной части (0,35);
 D_{set} – диаметр отстойника, м;
 d_{en} – диаметр выпускного устройства (центральной трубы), м;
 U_0 – гидравлическая крупность задерживающихся частиц, мм/с;
 v_{tb} – турбулентная составляющая, мм/с.

Так как в вертикальных отстойниках скорость вертикального подъема воды $V \leq 0,5$ мм/с, при этом U_0 должно быть $> 0,5$ мм/с. При такой скорости рабочего потока турбулентная составляющая равна нулю (СНиП 2.04.03–85, табл 32)

3. Формула (2.41) может быть записана в виде, м³/ч:

$$q = \frac{3,6\pi}{4} \cdot n \cdot K_{set} (D_{set}^2 - d_{en}^2) \cdot U_0. \quad (2.42)$$

4. Задавшись числом отстойников не менее трех и определив d_{en} исходя из $u_{ц} \leq 30$ мм/с и $q = \frac{Q}{n}$, можно определить D_{set} – диаметр отстойника. Его диаметр не должен быть более $3H$ слоя отстойной зоны. Если это условие не соблюдено, то надо увеличить число n отстойников. Обычно D_{set} отстойника не может быть более 10 м (от 4 до 10 м).

5. Высота конической части отстойника:

$$h_k = \frac{(D_{set} - d_0) \operatorname{tg} \alpha}{2}, \quad (2.43)$$

где d_0 – диаметр нижнего основания отстойника, м;
 α – угол наклона конической части отстойника, $\alpha = 50^\circ - 60^\circ$.

6. Общая высота отстойника, м:

$$H = h_6 + H_s + h_{щ} + h_k, \quad (2.44)$$

где h_6 – высота от зеркала воды до верха отстойника, равна 0,3 м;
 H_s – высота от зеркала до низа раструба центральной трубы, равна 2,7 – 3,8 м;
 $h_{щ}$ – высота щели, определяемая исходя из скорости течения в щели, равна 0,25–0,5 м при $V_{щ} \leq 15$ мм/с.

7. Продолжительность пребывания возвратного ила во вторичном отстойнике определяем по формуле

$$t_{mud} = J_i \cdot a_{mud} / 500, \quad (2.45)$$

где J_i – иловый индекс;
 a_{mud} – концентрация активного ила в отстойной зоне (6 – 10 г/дм³).

8. Определяем требуемый уровень ила в отстойнике:

$$h_{mud} = t_{mud} \cdot q_{ssa} (a_i - a_t) / a_{mud} \quad (2.46)$$

3. СООРУЖЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

3.1. Биофильтры

Биологические фильтры представляют собой сооружения, где процесс биологической очистки сточных вод протекает в искусственно созданных условиях. Биологические фильтры бывают **периодического** (контактные) и **непрерывного действия**. Контактные биофильтры вследствие их малой производительности и высокой стоимости в настоящее время не применяют. Биофильтры непрерывного действия по производительности могут быть подразделены на капельные и высоконагружаемые, по способу подачи в них воздуха и те и другие могут быть с естественной и с искусственной вентиляцией (аэрофильтры).

Капельные биофильтры. Капельные – непрерывно действующие биофильтры – в зарубежной практике иногда называют оросительными или перколяторными.

Непрерывно действующий капельный биофильтр состоит из следующих основных частей: непроницаемого основания, дренажа, боковые стенок, фильтрующего материала и распределительных устройств. Биофильтры могут быть в плане круглые, прямоугольные, квадратные. Их можно устраивать с водонепроницаемыми стенками.

Поверхность капельного биофильтра орошают сверху равномерно через небольшие промежутки времени; при этом вода подается в виде капель или струй (капельные или оросительные) или в виде тонкого слоя воды (перколяторные).

В отечественной практике в капельные биофильтры воздух поступает естественным путем – сверху через открытую поверхность биофильтра и снизу через дренаж. Они имеют низкие нагрузки по воде, не более $0,5 - 1 \text{ м}^3$ сточной воды на 1 м^3 загрузочного материала, а также меньший по сравнению с высоконагружаемыми биофильтрами размер фракций загрузки (25 – 40 мм).

Капельные биофильтры рекомендуется проектировать на производительность не более $1000 \text{ м}^3/\text{сут}$. Они предназначены для полной биологической очистки сточной жидкости с БПК_п не более 200 мг/дм^3 , а очищенной воды – до 15 мг/л .

Проходя через фильтрующую загрузку биофильтра, загрязненная вода вследствие адсорбции оставляет в ней взвешенные и коллоидные органические вещества, не осевшие в первичных отстойниках, которые создают биопленку, густо заселенную микроорганизмами. Микроорганизмы биопленки окисляют органические вещества и получают необходимую для своей жизнедеятельности энергию. Часть растворенных органических веществ микроорганизмы используют как пластический материал для увеличения своей массы. Таким образом, из сточной воды удаляются органические вещества, а в теле биофильтра увеличивается масса активной биологической пленки. Отработавшая и омертвевшая пленка смывается протекающей сточной водой и выносится из тела биофильтра.

Работа биофильтра заключается в следующем. Осветленная в первичных отстойниках сточная вода самотеком (или под напором) поступает в распределительные устройства, которые периодически напускают воду на поверхность

биофильтра. Профильтрованная через толщу биофильтра вода проходит через отверстия в дырчатом дне (дренаже), поступает на сплошное непроницаемое днище, с которого стекает по отводным лоткам, расположенным за пределами биофильтра. Затем вода поступает во вторичные отстойники, в которых задерживается выносимая биопленка, отделяемая от очищенной сточной воды.

Эффект очистки нормально работающих биофильтров подобного типа очень высок и может достигать по БПК₂₀ 90 % и более. Общий вид биофильтра показан на рис. 19.

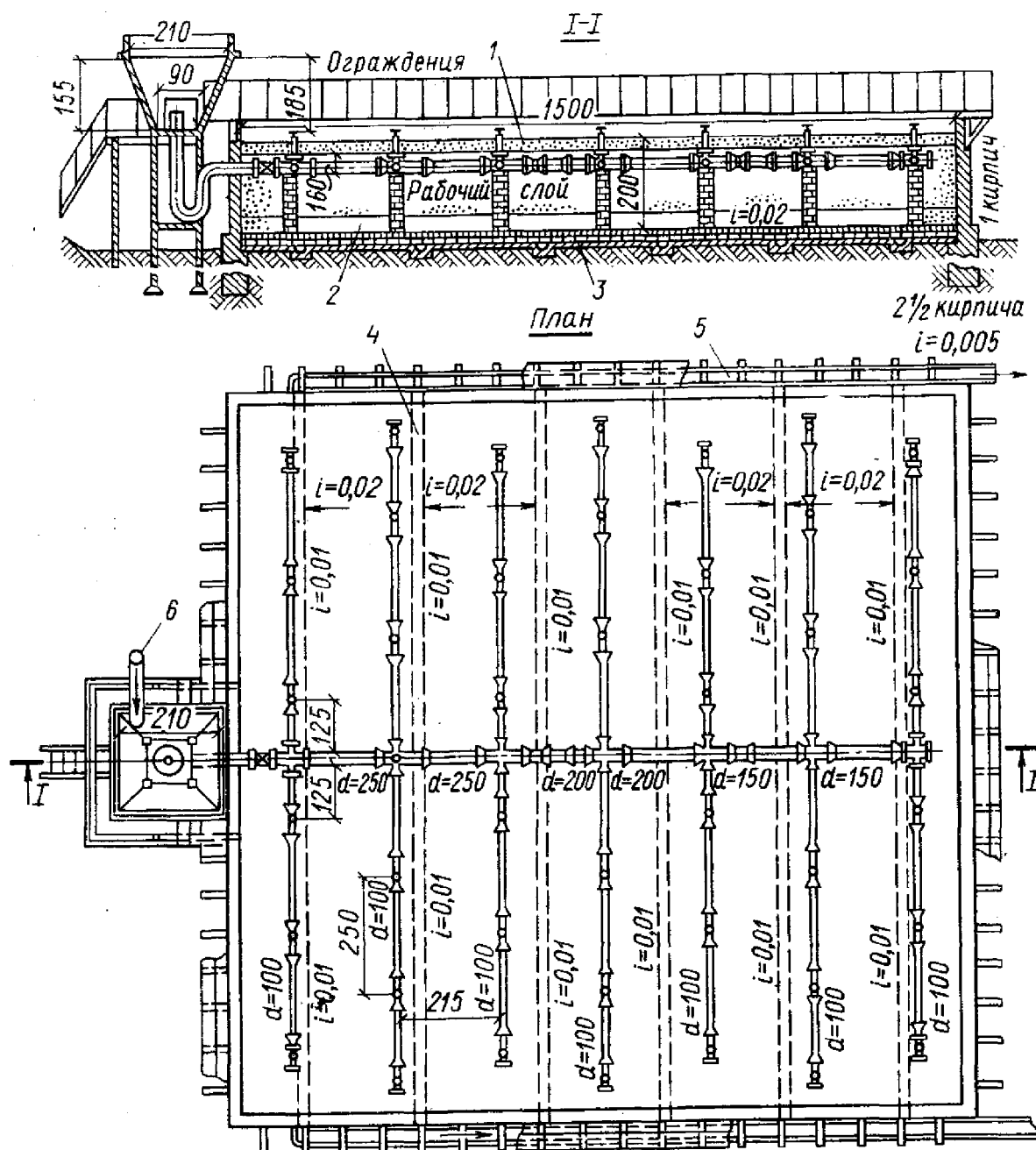


Рис. 19. Биофильтр:

- 1 – распределительный слой; 2 – поддерживающий слой; 3 – бетон; 4 – дренаж;
5 – сборный лоток; 6 – подача сточной жидкости

При расчете биофильтра определяют необходимый объем загрузочного материала для очистки поступающей сточной воды, а также рассчитывают распределительные устройства для орошения загрузки водой, дренаж и лотки, собирающие осветленную воду. В отечественной практике проектирования капельных биофильтров объем фильтрующей загрузки определяют по окислительной мощности биофильтра.

Окислительная мощность – количество граммов кислорода, которое может быть получено с 1 м^3 загрузочного материала в сутки для снижения биохимической потребности сточной воды. Окислительная мощность биофильтра колеблется в широких пределах, так как ее величина зависит от многих факторов: температуры сточной воды и наружного воздуха, свойств поступающей жидкости, материала загрузки, способа подачи воздуха и пр.

Полученную по расчету общую площадь биофильтров делят на отдельные секции. Число и размеры секций биофильтров зависят от способа распределения сточной воды по поверхности, от условий их эксплуатации и др. Однако площадь отдельных секций биофильтров не должна превышать 1000 м^2 .

Высоконагружаемые биофильтры. В 1929 г. в СССР и в 1936 г. в США появились новые типы биофильтров, которые в отечественной практике получили название **аэрофильтров**, а в зарубежной практике – **высоконагружаемых биофильтров**. В СССР аэрофильтры были предложены профессорами Н. А. Базякиной и С. Н. Строгановым. Они впервые были построены в 1929 г. на Кожуховской станции биофильтрации и имеют явное преимущество по сравнению с капельными, поэтому получили широкое распространение.

Высоконагружаемые биофильтры отличаются от капельных как конструкцией, так и в эксплуатационном отношении.

Конструктивными отличиями являются: 1) увеличение крупности зерен загрузочного материала (40 – 60 мм по всей высоте загрузки); материалом может служить щебень твердых пород; 2) искусственная продувка материала загрузки воздухом, а в связи с этим изменение конструкции днища и дренажа; 3) увеличение высоты слоя фильтрующей загрузки.

К эксплуатационным особенностям относятся: 1) обязательное орошение всей поверхности биофильтров поступающей водой и по возможности уменьшение длительности перерывов в подаче воды на поверхность; 2) повышение нагрузки по воде на 1 м^2 поверхности в целях создания естественных условий для самопроизвольной промывки фильтров; 3) разбавление в необходимых случаях поступающего стока очищенной сточной водой, т. е. введение рециркуляции.

Исследованиями установлено, что биофильтры высокой нагрузки могут обеспечить любую производительность и любую степень очистки в зависимости от тех или иных конструктивных особенностей и режима их эксплуатации, которые заданы.

На рис. 20 показана схема одноступенчатой работы биофильтров с рециркуляцией. Двухступенчатую работу биофильтра применяют в том случае, если

необходима полная биологическая очистка и биофильтры I ступени нельзя проектировать достаточной высоты. В этом случае в I ступени будет осуществляться неполная очистка стока, а во II ступени – его доочистка.

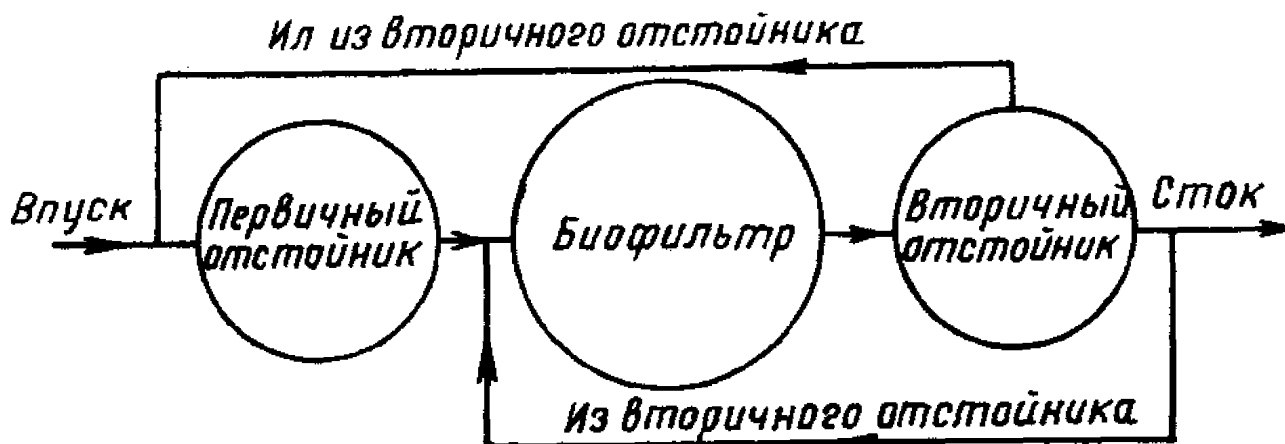


Рис. 20. Схема одноступенчатой работы биофильтров с рециркуляцией

По конструктивным особенностям загрузки высоконагружаемые биофильтры проектируются с объемной загрузкой (гравий, щебень, керамзит и пр.) и с плоскостной загрузкой.

Биофильтры с плоскостной загрузкой бывают с жесткой загрузкой в виде колец или обрезков труб из керамических, пластмассовых и металлических засыпных элементов; с жесткой загрузкой в виде решеток или блоков из плоских и гофрированных листов; с мягкой или рулонной загрузкой из металлических сеток, пластмассовых пленок, синтетических тканей, которые крепятся на каркасах или укладываются в виде рулонов.

Основные виды серийно выпускаемых плоскостных загрузочных материалов представлены в табл. 10.

Как видно из таблицы, плотность плоскостных загрузочных материалов ($12,2 - 140 \text{ кг/м}^3$) значительно меньше, чем традиционных из гравия или щебня ($1350 - 1500 \text{ кг/м}^3$), что позволяет упростить и облегчить фундамент и ограждающие конструкции биофильтров. Пористость плоскостных загрузочных материалов ($87 - 99 \%$) более чем вдвое выше, чем у объемных загрузок ($40 - 50 \%$), что позволяет отказаться от принудительной вентиляции и сэкономить значительное количество электроэнергии. Удельная поверхность плоскостных загрузочных материалов $80 - 450 \text{ м}^2/\text{м}^3$ против $50 - 80 \text{ м}^2/\text{м}^3$ у объемных. Однако даже при одинаковой удельной поверхности активная поверхность плоскостных загрузочных материалов значительно больше за счет отсутствия мертвых зон, образующихся при соприкосновении фракций засыпного загрузочного материала.

Плоскостные загрузочные материалы

Загрузка	Страна изготовитель	Плотность, кг/м ³	Пористость, %	Удельная поверхность, м ² /м ³	Масса, кг/м ²	Материал
Полигрид	США	80	95	45	1,77	Полистирол
Доупак	США	60	94	82	0,73	Саран
Сэфпак	США	48 – 64	94	90 – 187	0,17 – 0,78	Полистирол
Клоизонил 1,11	Франция	70 – 80	94 – 95	180 – 220	0,36 – 0,39	ПВХ
Корозил	США	43 – 68	95 – 97	122	0,45	ПВХ
Пласдек	Швеция	28 – 70	95 – 8	100 – 230	0,19 – 0,30	ПВХ
Фловик А.В.С	Великобритания	38 – 76	95 – 97	86 – 160	0,44 – 0,48	ПВХ
Гидропак	Германия	31 – 67	94 – 98	200	0,16 – 0,4	ПВХ
Зульцер	Швейцария	140	90	450	0,31	ПВХ
Биопак	-	75	93	124	0,60	Полистирол
НСВ	-	41	96	73	0,56	Полистирол
Сложная волна	Россия	40	96	80	0,50	Полиэтилен
Флокор Е.М.Р	Великобритания	39 – 70	96	90 – 330	0,21 – 0,43	ПВХ
Эваллприт	Германия	50	94	160	0,31	ПВХ
Кларпак ВР-Т	Польша	28	98	135	0,21	ПВХ
ЗОЗП	РФ	60	95	120	0,5	Полиэтилен
Трак	РФ	20	97	140	0,14	ПВХ
Трактор	РФ	48	94	187	0,25	ПВХ

3.2. Расчет биофильтров

Расчет капельных биофильтров. Капельные биофильтры в зависимости от расхода сточных вод и среднегодовой температуры воздуха размещают в неотапливаемых или отапливаемых помещениях, допустимое значение БПК_{полн} сточных вод, подаваемых на биофильтр, составляет 220 мг/дм³, гидравлическая нагрузка 1 – 3 м³/м²сут).

Расчет капельных биофильтров производится в такой последовательности:

1) определяется коэффициент K :

$$K = L_{en}/L_{mix}, \quad (3.1)$$

где L_{en} , L_{mix} – БПК_{полн} сточных вод, соответственно поступающей и очищенной;

2) по среднезимней температуре сточной воды T и значению K по табл. 11 определяются высота биофильтра H и гидравлическая нагрузка q . Если полученное значение K превышает значения, приведенные в табл. 11, то необходимо вводить рециркуляцию и расчет производить по методике расчета высоконагружаемых биофильтров с рециркуляцией;

Таблица 11

Параметры для расчета капельных биофильтров

Гидравлическая нагрузка, q , $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$	Значения K при температуре сточной воды $T, ^\circ\text{C}$			
	8	10	12	14
1	8,0/11,6	9,8/12,6	10,7/13,8	11,4/15,1
1,5	5,9/10,2	7,0/10,9	8,2/11,7	10,0/12,8
2	4,9/8,2	5,7/10,0	6,6/10,7	8,0/11,5
2,5	4,3/6,9	4,9/8,3	5,6/10,1	6,7/10,7
3	3,8/6,0	4,4/7,1	5,0/8,6	5,9/10,2

Примечание. Перед чертой даны значения K для высоты биофильтра $H = 1,5$ м; за чертой – $H = 2$ м.

3) по расходу очищаемых сточных вод Q , $\text{м}^3/\text{сут}$, и гидравлической нагрузке q $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ определяется общая площадь биофильтров S , м^2 :

$$S = Q/q, \quad (3.2)$$

Биофильтры устраивают в виде отдельных секций. Число и размеры секций зависят от способов распределения сточной воды по поверхности, условий их эксплуатации и пр. Число секций должно быть не менее 2 и не более 6 – 8, все секции должны быть рабочими.

Расчет высоконагружаемых биофильтров (аэрофильтров). Высоконагружаемые биофильтры размещаются на открытом воздухе, высоту биофильтра назначают в зависимости от БПК_{полн} очищенной сточной воды, а гидравлическую нагрузку – в пределах 10 – 30 $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$. Допустимое значение БПК_{полн} поступающих на биофильтр сточных вод – 300 $\text{мг}/\text{дм}^3$.

Расчет высоконагружаемых биофильтров производится в такой последовательности:

1) определяется коэффициент K по формуле $K = L_{en}/L_{mix}$, (L_{en} , L_{mix} – БПК_{полн} сточных вод, соответственно поступающей и очищенной);

2) по среднезимней температуре сточной воды T и найденному значению K определяют высоту биофильтра H , гидравлическую нагрузку q и расход воздуха $V_{уд}$ по табл. 12; для очистки без рециркуляции значения H , q и $V_{уд}$ следует принимать по ближайшему большему значению K , для очистки с рециркуляцией – по меньшему значению K . При очистке без рециркуляции находят площадь

биофильтров по формуле (3.2).

Таблица 12

Параметры для расчета высоконагружаемых биофильтров

Высота биофильтра, <i>H</i> , м	Значение <i>K</i> при среднезимней температуре сточной воды <i>T</i> , °С							
	8		10		12		14	
	и гидравлической нагрузке <i>q</i> , м ³ /(м ² ·сут)							
	10	20	10	20	10	20	10	20
При <i>V</i> _{уд} = 8 м ³ на 1 м ³ воды								
2	3,02	2,32	3,38	2,5	3,76	2,74	4,3	3,02
3	5,25	3,53	6,2	3,96	7,32	4,64	8,95	5,25
4	9,05	5,37	10,4	6,25	11,2	7,54	12,1	9,05
При <i>V</i> _{уд} = 10 м ³ на 1 м ³ воды								
2	3,69	2,89	4,08	3,11	4,5	3,36	5,09	3,67
3	6,1	4,24	7,08	4,74	8,23	5,31	9,9	6,04
4	10,1	6,23	12,3	7,18	15,1	8,45	16,4	10
При <i>V</i> _{уд} = 12 м ³ на 1 м ³ воды								
2	4,32	3,38	4,76	3,72	5,31	3,98	5,97	4,31
3	7,25	5,01	8,35	5,55	9,9	6,35	11,7	7,2
4	12	7,35	14,8	8,5	18,4	10,4	23,1	12

При очистке сточных вод с рециркуляцией определяют допустимую БПК_{полн} смеси поступающей *L_{ex}* и рециркуляционной сточной воды *L_{mix}*, подаваемой на биофильтр, коэффициент рециркуляции *K_{rc}* и площадь биофильтров *S*:

$$L_{mix} = K \cdot L_{ex}; \tag{3.3}$$

$$K_{rc} = (L_{ex} - L_{mix}) / (L_{mix} - L_{ex}); \tag{3.4}$$

$$S = Q \cdot (K_{rc} + 1) / q. \tag{3.5}$$

При расчете высоконагружаемых биофильтров для сточных вод, имеющих *T* < 8°С и *T* > 14°С, коэффициент *K_{rc}* определяется также по формуле.

Расчет биофильтров с плоскостной загрузкой. Биофильтр с плоскостной загрузкой, как правило, размещают в закрытом помещении, высоту биофильтра назначают в зависимости от требуемой степени очистки. Допустимое значение: БПК_{полн} поступающих сточных вод при полной биологической очистке 250 мг/дм³; при неполной очистке – не ограничивается. Гидравлическая нагрузка зависит от необходимой степени очистки и количества органических загрязнений в поступающей сточной воде.

Их расчет можно производить по формулам, предложенным С.В. Яковлевым и Ю.В. Вороновым:

$$\text{при } L_{ex} = 10 \div 100 \text{ мг/дм}^3 \quad L_{ex} = 10^{2,18-0,38\eta}$$

при $L_{ex} \leq 10$ мг/дм³ $L_{ex} = 10^{2,13-0,6\eta}$
 где L_{ex} – БПК₅ очищенной воды, г/м³;
 η – критериальный комплекс, равный $P \cdot H \cdot K/F$,
 P – пористость загрузочного материала, %
 H – высота биофильтра, м;
 K_T – константа, равная $K_{20} \cdot 1,047^{T-20}$;
 F – количество органических загрязнений, поступающих в сутки на единицу площади поверхности загрузочного материала, г/м²·сут.

$$F = L_{en} \cdot q_n / S_{уд}; \quad (3.6.)$$

$S_{уд}$ – удельная площадь поверхности загрузочного материала, м²/м³;
 L_{en} – БПК₅ поступающих сточных вод, г/м³;
 q – расход сточных вод, м³/сут.

В табл. 13 приведены значения критериального комплекса η в зависимости от БПК₅ очищенной воды.

Таблица 13

Значения критериального комплекса

L_{ex} , мг/дм ³	η	L_{ex} , мг/дм ³	η
10	3,30	35	1,60
15	2,60	40	1,45
20	2,25	45	1,30
25	2,00	50	1,20
30	1,75		

Расчет биофильтров с плоскостной загрузкой ведется по БПК в такой последовательности:

1) в зависимости от требуемого значения БПК₅ очищенных вод L_{ex} , мг/л, определяется критериальный комплекс:

$$\eta = P \cdot H \cdot K/F, \quad (3.8)$$

$$F = L_{en} \cdot q_n / S_{уд} = M / S_{уд}, \quad (3.9)$$

где q – гидравлическая нагрузка, м³/ (м³/сут);

$S_{уд}$ – площадь удельной поверхности загрузочного материала, м²/м³;

M – нагрузка по БПК на 1 м³ объема биофильтра, г/м³сут;

2) по заданной среднезимней температуре сточных вод T подсчитывается K_T , глубина слоя загрузки H назначается в зависимости от требуемой степени очистки, но не менее 3 – 4 м. Величина P определяется с учетом конструктивных размеров плоскостной загрузки F

$$F = P \cdot H \cdot K_T / \eta; \quad (3.10)$$

3) по заданной величине L_{en} и $S_{уд}$ из формулы $F=L_{en} \cdot q_n/S_{уд}$ находится допустимая гидравлическая нагрузка q_n , м³/(м³сут)

$$q_n = F \cdot S_{уд} / L_{en} \quad (3.11)$$

4) по заданному суточному расходу Q , м³/сут и подсчитанной величине q_n определяется объем загрузочного материала биофильтра, а затем число биофильтров и их конструктивные размеры.

Для расчета биофильтров с плоскостной загрузкой составлены табл. 14 и 15 (для блоков с пористостью 93 – 96 %); $S_{уд} = 90 – 110$ м²/м³; $L_{en} = 200 – 250$ мг/дм³.

Таблица 14

**Допустимая гидравлическая нагрузка на биофильтры
с плоскостной загрузкой**

Необходимый эффект очистки, %	Гидравлическая нагрузка, м ³ / (м ² ·сут) при высоте слоя							
	3				4			
	и среднезимней температуре сточной воды, °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

Таблица 15

Допустимая органическая нагрузка на биофильтр с плоскостной загрузкой

БПК ₅ очищенной воды, мг/л	Нагрузка по БПК ₅ г/ (М ³ ·сут), при высоте слоя загрузки, м					
	3			4		
	и среднезимней температуре сточной воды, °С					
	10–12	13–15	16–20	10–12	13–15	16–20
15	1150	1300	1550	1500	1750	2100
20	1350	1550	1850	1800	2100	2500
25	1650	1850	2200	2100	2450	2900
30	1850	2100	2500	2450	2850	3400
40	2150	2500	3000	2900	3200	4000

3.3. Погружные биофильтры

Погружные биофильтры имеют признаки биофильтров и аэротенков. Погружной биофильтр состоит из следующих основных частей:

- резервуара;
- пространственной конструкции загрузки, обладающей развитой поверхностью и закрепленной на вращающемся горизонтальном валу, располо-

женном над поверхностью обрабатываемой в резервуаре сточной воды;

- лотков для распределения поступающей и сбора обработанной сточной воды;
- устройства, с помощью которого приводится во вращение горизонтальный вал.

По виду пространственных конструкций загрузки погружные биофильтры подразделяются на дисковые, шнековые, трубчатые, барабанные. Наибольшее распространение в практике очистки сточных вод получили дисковые и барабанные.

Погружные биофильтры имеют ряд преимуществ по сравнению с биофильтрами и аэротенками:

- индустриальны в строительстве;
- компактны;
- имеют малую энергоемкость;
- просты и надежны в эксплуатации;
- не требуют больших перепадов высот при движении воды, что свойственно всем другим биофильтрам, а при наличии перепада, равного 0,5 – 1 м, горизонтальный вал может вращаться за счет энергии падающего потока сточной воды.

Погружные биофильтры выдерживают залповые поступления сточных вод, их целесообразно применять при большом коэффициенте неравномерности поступления сточных вод. Использование погружных биофильтров в технологических схемах очистки позволяет отказаться от рециркуляции сточных вод при прекращении их поступления на очистные сооружения. Наличие резервуара с обрабатываемой сточной водой и вращение пространственной конструкции загрузки исключают возможность засыхания биопленки.

Дисковые погружные биофильтры (рис. 21) состоят из дисков диаметром 1 – 5 м (целесообразно 2 – 3 м), собираемых в пакеты по 30 – 180 штук и закрепляемых на вращающемся горизонтальном валу на расстоянии 10 – 25 мм друг от друга. Диски выполняются из металла, пластмасс, асбестоцемента, тканей; их толщина составляет 1– 10 мм. Частота вращения горизонтального вала с пакетом дисков 1 – 50 мин⁻¹ (чаще 2 – 10 мин⁻¹); степень погружения дисков в обрабатываемую сточную воду 0,3 – 0,45 диаметра. Сточная вода подается в распределительный лоток, а затем в резервуар погружного биофильтра, где пакеты дисков постоянно вращаются с помощью электродвигателей или других устройств. На поверхности дисков закрепляются и развиваются колонии микроорганизмов, образующие биопленку, близкую по видовому составу биопленке биофильтров с объемной и плоскостной загрузкой. При нахождении части поверхности дисков с биопленкой в жидкой фазе осуществляется процесс сорбции на ней нерастворенных, коллоидных и растворенных органических загрязнений, содержащихся в обрабатываемой сточной воде. При повороте пакета дисков биопленка оказывается на воздухе, где происходят интенсивное поглощение кислорода и окисление сорбированных загрязнений. За счет вращения дисков осуществляется также процесс аэрации обрабатываемой сточной воды. Часть биопленки, включая отработавшую, отрывается от поверхности дисков и

находится в обрабатываемой сточной воде во взвешенном состоянии аналогично хлопьям активного ила.

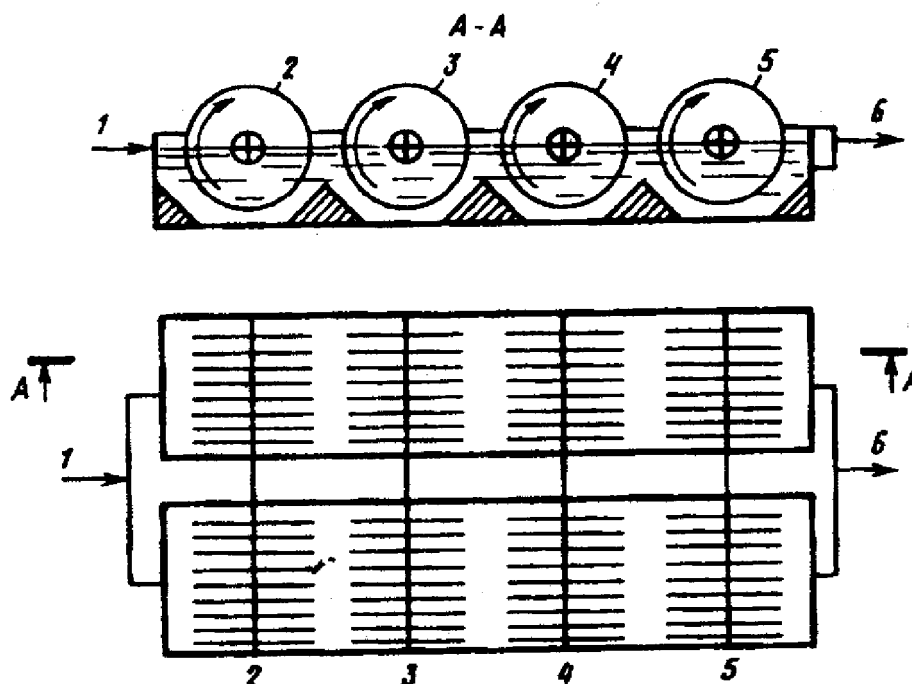


Рис. 21. Схема погружного дискового биофильтра:

1 — подача сточных вод; 2–5 — соответственно первая, вторая, третья и четвертая ступени погружного дискового биофильтра; 6 — выпуск обработанных сточных вод

Таким образом, процессы окисления органических загрязнений сточной воды осуществляются как биопленкой на поверхности дисков (аналогично биофильтру), так и активным илом в объеме обрабатываемой воды (аналогично аэротенку). В зависимости от состава сточных вод и необходимой степени очистки число ступеней дисковых погружных биофильтров составляет 1 – 4 и более, эффективность их работы 50 – 98 %, нагрузка по БПК_{полн} на 1 м² поверхности дисков до 200 г/(м²/сут). Время пребывания сточных вод в резервуаре 0,5 – 3 ч. Концентрация органических загрязнений в поступающих сточных водах не ограничивается. Расчет дисковых погружных биофильтров сводится к определению необходимой площади поверхности дисков, их диаметра и числа, частоты вращения пакета дисков, числа ступеней, времени пребывания обрабатываемых сточных вод в резервуаре и др.

Барабанные погружные биофильтры состоят из барабанов, закрепленных на вращающемся горизонтальном валу и заполненных загрузочным материалом. Жесткий корпус барабана обтягивается сеткой или другим материалом, а внутри корпуса помещаются засыпные загрузочные элементы, плоскостные материалы, блочные секции, на поверхности которых развивается биопленка. Барабаны длиной 2 – 3 м и диаметром 2 – 2,5 м помещаются в резервуары, куда поступает обрабатываемая сточная вода; частота вращения барабана 0,5 – 5 мин⁻¹; степень погружения барабанов в обрабатываемую сточную воду 0,3 – 0,45 диаметра (рис. 22).

Процессы биологической очистки сточных вод осуществляются аналогично процессам в дисковых погружных биофильтрах. Если используются засыпные твердые или волокнистые элементы, то при вращении барабана они перемещаются внутри его секторов, что обеспечивает эффективный контакт закрепленной биопленки с обрабатываемой сточной водой и высокую дозу биомассы в объеме резервуара. Расчет погружных барабанных биофильтров сводится к определению площади поверхности загрузочного материала. В зависимости от концентрации органических загрязнений в исходной сточной воде и необходимой степени очистки определяются технологические параметры работы барабанных биофильтров и их конструктивные размеры.

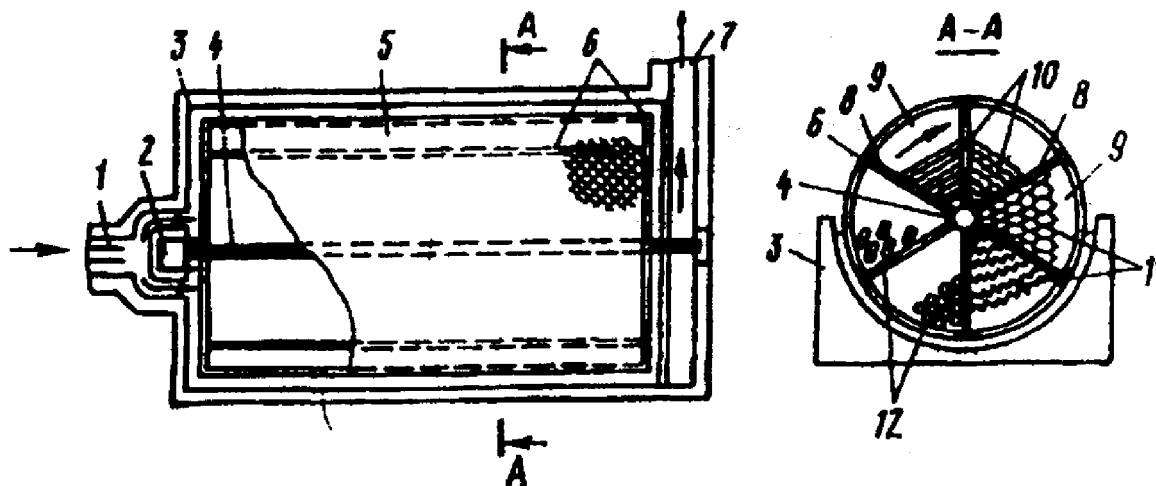


Рис. 22. Односекционный погружной барабанный фильтр:

1 – подводящий лоток; 2 – электродвигатель с редуктором; 3 – резервуар; 4 – вал; 5 – барабан из металлической сетки; 6 – каркас жесткости; 7 – отводящий лоток; 8 – перегородки; 9 – секторы барабана; 10 – загрузочные плоские и гофрированные листы; 11 – загрузочные блоки; 12 – засыпной загрузочный материал (обрезки труб, шарики и т.п.)

Погружные биофильтры применяются для полной и неполной биологической очистки хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод на сооружениях пропускной способностью от 1 м³/сут до 150 тыс.м³/сут. Оптимальная область применения – это комплексы сооружений по очистке сточных вод пропускной способностью 200 – 1000 м³/сут от населенных мест и промышленных объектов. Погружные биофильтры устанавливаются после сооружений предварительной механической очистки; разделение биологически очищенной сточной воды и отработавшей биомассы (биопленки и активного ила) осуществляется во вторичных отстойниках. В целях обеспечения большей надежности работы погружные биофильтры следует устраивать не менее чем в две ступени и не менее чем в две технологические линии в отапливаемых или неотапливаемых павильонах (зданиях).

Расчет погружных дисковых и барабанных биофильтров сводится к определению времени пребывания обрабатываемых сточных вод в резервуаре:

$$t = \frac{L_{en} - L_{ex}}{a_i(1 - S)\rho}, \quad (3.12)$$

где t – период аэрации, ч;

L_{en} и L_{ex} – соответственно БПК_{полн} неочищенных и очищенных сточных вод, мг/л;

ρ – удельная скорость окисления, мг БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества биомассы и в 1 ч;

S – зольность биомассы;

a – доза ила, в данном случае это общая доза биомассы, г/л.

Количество общей биомассы определяется по формуле

$$a_I = K_{ж} \cdot a_{ж} + K_{п} \cdot a_{п}, \quad (3.13)$$

где $K_{ж}$ и $K_{п}$ – коэффициенты активности свободноплавающей и прикрепленной биомассы ($K_{ж} = 1-1,5$; $K_{п} = 1-1,2$);

$a_{ж}$ и $a_{п}$ – доза свободноплавающей и прикрепленной биомассы, г/л.

Дозу прикрепленной биомассы следует определять по формуле

$$a_{п} = M_{п} - S_{уд}, \quad (3.14)$$

где $M_{п}$ – доза прикрепленного биоценоза, равная $40 - 60$ г/м² при использовании стационарных плоскостных заполнителей и $60 - 70$ г/м² – при использовании свободноплавающих заполнителей;

$S_{уд}$ – удельная площадь поверхности инертного заполнителя, равная $10 - 60$ м²/м.

Исходя из необходимого количества прикрепленной биомассы на вращающейся загрузке, определяют необходимую площадь последней. Задаваясь диаметром дисков, определяют их число и число ступеней. Количество ступеней следует проектировать не менее двух. Количество технологических линий следует устраивать также не менее двух.

3.4. Аэротенки

Аэротенк представляет собой резервуар, в котором медленно движется смесь активного ила и очищаемой сточной жидкости. Для лучшего и непрерывного контакта они постоянно перемешиваются путем подачи сжатого воздуха или с помощью специальных приспособлений. Для нормальной жизнедеятельности микроорганизмов-минерализаторов в аэротенк должен непрерывно поступать кислород воздуха. Активный ил представляет собой биоценоз микроорганизмов-минерализаторов, способных сорбировать на своей поверхности и окислять в присутствии кислорода воздуха органические вещества сточной жидкости. Хороший активный ил имеет компактные хлопья средней крупности.

Эффект очистки в аэротенках, качество и окислительная способность активного ила определяются составом и свойствами сточных вод, гидродинамическими условиями перемешивания, температурой и активной реакцией среды, наличием элементов питания и другими факторами.

Качество ила обуславливается многими факторами. При прочих равных условиях оно зависит от соотношения между массой активного ила (по сухому

веществу) и массой загрязненных веществ, находящихся в очищаемой воде. Это соотношение характеризует **нагрузку на ил**, которая выражается количеством извлеченных из сточных вод загрязнений по БПК, приходящихся на 1 г беззольного вещества активного ила. Как правило, 1 г ила сохраняет свою нормальную активность при нагрузке на него 200 – 400 мг кислорода. При более высоких нагрузках (1000 – 1200 мг/дм³), т. е. при работе аэротенков на неполную очистку, активный ил обязательно регенерируют.

Различают понятия нагрузка на ил и окислительная способность ила. Нагрузка на ил характеризует количество поданных загрязнений, а окислительная способность – количество снятых (переработанных) загрязнений. **Окислительная способность** зависит от дозы ила (т. е. от количества ила по сухому веществу) в 1 дм³. Доза ила в аэротенках разных систем и конструкций изменяется от 1 до 20 г/дм³.

Существует также понятие **возраста** – среднее время пребывания ила в аэротенках.

Показатель качества активного ила – его **способность к оседанию**, которая оценивается величиной **илового индекса**, представляющего собой объем активного ила в 1 мл после 30-минутного отстаивания 100 мл иловой смеси, отнесенный к 1 г сухого вещества ила. Хорошо оседающим считается ил с индексом 100 – 120. Глубоко минерализованный ил имеет индекс 60 – 90. Недостаточно хорошо работающий ил способен «вспухать». В этом случае иловый индекс более 150 – 200.

Смесь сточной жидкости с активным илом должна аэрироваться на всем протяжении аэротенка. Это необходимо не только для того, чтобы обеспечить микроорганизмы-минерализаторы достаточным количеством кислорода воздуха, но и для поддержания ила во взвешенном состоянии. Кислород нагнетается в аэротенк с воздухом воздуходувками или засасывается из атмосферы при сильном перемешивании содержимого аэротенка.

Отличительная особенность аэротенка как сооружения биологической очистки заключается в том, что процесс очистки можно регулировать до необходимой по местным условиям степени. Чем длительнее процессы аэрации, чем больше воздуха и активного ила, тем лучше очищается вода.

Различают аэротенки-смесители, аэротенки-вытеснители и аэротенки промежуточного типа. В зависимости от местных условий аэротенки проектируют либо на полную, либо на частичную биологическую очистку. По технологической схеме различают аэротенки одноступенчатые, двухступенчатые и аэротенки с регенераторами.

На рис. 23 представлена технологическая схема аэротенка, работающего на полную очистку. Прошедшая аэротенк сточная вода вместе с активным илом поступает во вторичный отстойник, где активный ил отделяется от очищенной сточной воды. Отделенный активный ил снова перекачивается в канал перед аэротенком для дальнейшего использования. Этот ил называется **циркуляционным**. В процессе окисления им органического вещества количество ила в

связи с ростом микроорганизмов и наличием органических загрязнений непрерывно возрастает. Поэтому часть ила приходится все время удалять.

В самом начале процесса при смешении сточной жидкости с активным илом загрязнения сорбируются на активном иле и частично окисляются, в результате чего резко снижается биохимическая потребность сточной жидкости в кислороде. По существу, загрязнения извлекаются довольно быстро, примерно в течение 2 ч. Частичная сорбция нерастворимых и коллоидных веществ может происходить и при недостатке кислорода.

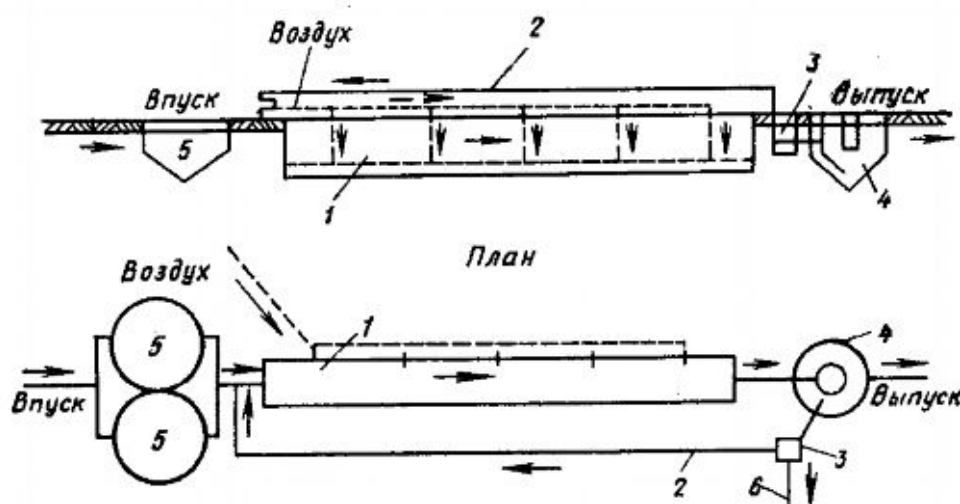


Рис. 23. Технологическая схема работы одноступенчатого аэротенка на полную биологическую очистку:

1 — аэротенк; 2 — циркулирующий активный ил; 3 — насосная станция; 4 — вторичный отстойник; 5 — первичный отстойник; 6 — избыточный активный ил

На второй стадии процесса активный ил регенерируется, т. е. восстанавливается его сорбционная способность, а также окисляются задержанные ранее на иле загрязнения. Скорость потребления кислорода на этой стадии процесса значительно меньше, чем в первой. На третьей стадии процесса идет нитрификация аммонийных солей, скорость потребления кислорода здесь снова возрастает.

Одноступенчатые аэротенки имеют ряд недостатков. В таких аэротенках нельзя интенсифицировать процесс очистки стоков путем увеличения дозы активного ила, так как с увеличением дозы ила наблюдается повышенный вынос его из вторичных отстойников, что приводит к загрязнению очищенной воды. Кроме того, при залповом поступлении сточных вод, содержащих токсичные примеси, может резко нарушиться жизнедеятельность микронаселения активного ила или даже произойдет его гибель. В обоих случаях нормальная работа аэротенка нарушается на длительное время.

Сам ход потребления кислорода во времени при биохимическом окислении в аэротенке свидетельствует о том, что можно разделить сооружения на две части в соответствии с фазами окисления. Если, например, по местным санитарным условиям сточную жидкость можно спустить в водоем без полной ее

очистки, то конструкцию аэротенка можно рассчитать на продолжительность пребывания в нем воды в соответствии с первой фазой окисления. Такой аэротенк будет очищать сточную жидкость только частично. Схема работы аэротенка на частичную очистку представлена на рис. 24. При частичной очистке сточной жидкости сорбирующая способность активного ила восстанавливается дополнительной аэрацией в резервуарах, называемых регенераторами.

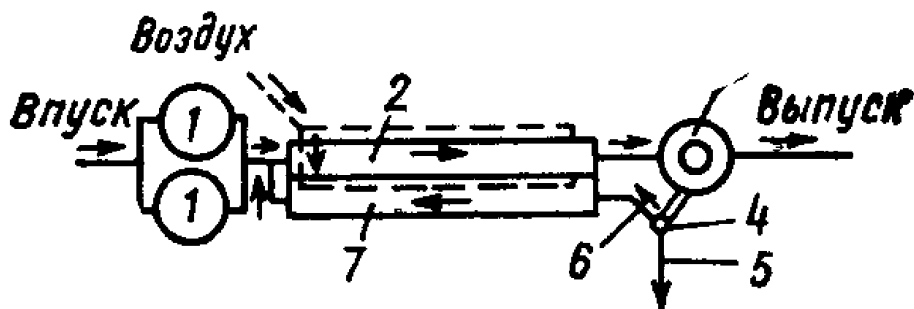


Рис. 24. Технологическая схема работы аэротенков на частичную очистку:
 1 – первичный отстойник; 2 – аэротенк; 3 – вторичный отстойник; 4 – насосная станция;
 5 – избыточный активный ил; 6 – циркулирующий активный ил; 7 – регенератор

Основные схемы очистки сточных вод в аэротенках. В зависимости от способа подачи и распределения воздуха аэротенки бывают с пневматической аэрацией, с поверхностной, или механической, аэрацией и с аэрацией смешанного типа. В аэротенки с пневматической аэрацией воздух подается воздуходувками и поступает в жидкость через аэраторы, обычно фильтросного типа. Механическая аэрация осуществляется специальными механическими аэраторами, которые интенсивно перемешивают жидкость и засасывают воздух из атмосферы. В отечественной и зарубежной практике наибольшее распространение получила пневматическая аэрация, но для небольших установок за рубежом применяют и механическую аэрацию.

Для полной биологической очистки бытовых сточных вод или их смеси с производственными сточными водами раньше чаще всего применяли обычные одноступенчатые аэротенки. По сравнению с другими они относительно просты в эксплуатации, но недостаточно экономичны. В этих аэротенках очистка сточной жидкости и регенерация активного ила осуществляются в одном сооружении.

Аэротенки, работающие с регенераторами, обеспечивают стабильность процесса биохимической очистки сточных вод. Процесс извлечения загрязнений из воды отделен от окисления их в активном иле, поэтому собственно аэротенки проектируются на меньшее время пребывания в них сточной воды, так как их задача – извлекать загрязнения. В регенераторах окисляются загрязнения, задержанные на активном иле. В них активный ил находится более длительное время. Такой способ очистки, когда в собственно аэротенках протекает первая стадия процесса, а в регенераторе – вторая и третья стадии, позволяет увеличить концентрацию загрязнений, приходящуюся на ил. В аэротенке поддерживается обычная нагрузка на ил, в регенераторе она повышается. Таким образом, средняя нагрузка на ил возрастает.

ет, и эти сооружения работают более производительнее. Применение аэротенков с регенераторами позволяет уменьшить общий строительный объем этих сооружений на 10 – 20 % по сравнению с объемом одноступенчатых аэротенков.

3.5. Расчет аэротенков

Аэротенки различных типов следует применять для биологической очистки городских и производственных сточных вод.

Аэротенки, действующие по принципу вытеснителей, следует применять при отсутствии залповых поступлений токсичных веществ, а также на второй ступени двухступенчатых схем.

Комбинированные сооружения типа аэротенков-отстойников (аэроакселераторы, окситенки, флототенки, аэротенки-осветлители и др.) при обосновании допускается применять на любой ступени биологической очистки.

Регенерацию активного ила необходимо предусматривать при БПК_{полн} поступающей в аэротенки воды свыше 150 мг/дм³, а также при наличии в воде вредных производственных примесей.

Вместимость аэротенков необходимо определять по среднечасовому поступлению воды за период аэрации в часы максимального притока.

Расход циркулирующего активного ила при расчете вместимости аэротенков без регенераторов и вторичных отстойников не учитывается.

Период аэрации t_{atm} , ч, в аэротенках, работающих по принципу смесителей, следует определить по формуле

$$t_{atm} = \frac{L_{en} - L_{ex}}{a_i(1-s)\rho}, \quad (3.15)$$

где L_{en} – БПК_{полн} поступающей в аэротенк сточной воды (с учетом снижения БПК при первичном отстаивании), мг/дм³;

L_{ex} – БПК_{полн} очищенной воды, мг/дм³;

a_i – доза ила, г/дм³, определяемая технико-экономическим расчетом с учетом работы вторичных отстойников;

s – зольность ила, принимаемая по табл. 16;

ρ – удельная скорость окисления, мг БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества ила в 1 ч, определяемая по формуле

$$\rho = \rho_{max} \frac{L_{ex}C_o}{L_{ex}C_o + K_iC_o + K_oL_{ex}} \cdot \frac{1}{1 + \varphi \cdot a_i}, \quad (3.16)$$

где ρ_{max} – максимальная скорость окисления, мг/(г·ч), принимаемая по табл. 16;

C_o – концентрация растворенного кислорода, мг/дм³;

K_i – константа, характеризующая свойства органических загрязняющих веществ, мг БПК_{полн}/дм³, и принимаемая по табл. 16 ;

K_o – константа, характеризующая влияние кислорода, мг O₂/дм³, и принимаемая по табл. 16 ;

φ – коэффициент ингибирования продуктами распада активного ила, л/г, принимаемый по табл. 16.

Формулы (3.15, 3.16) справедливы при среднегодовой температуре сточных вод 15 °С. При иной среднегодовой температуре сточных вод T_w продолжительность аэрации, вычисленная по формуле, должна быть умножена на отношение $15/T_w$. Продолжительность аэрации во всех случаях не должна быть менее 2 ч.

Таблица 16

Значения констант и коэффициентов для расчета аэротенков

Сточные воды	ρ_{max} , мгБПК _{пол}	K_i , мгБПК _{пол}	K_o , мг O ₂ /дм ³	ϕ , л/г	s
	(г – ч)	дм ³			
Городские	85	33	0,625	0,07	0,3
Производственные:					
а) нефтеперерабатывающих заводов:					
I система	33	3	1,81	0,17	-
II система	59	24	1,66	0,158	-
б) азотной промышленности	140	6	2,4	1,11	-
в) заводов синтетического каучука	80	30	0,6	0,06	0,15
г) целлюлозно-бумажной промышленности:					
сульфатно-целлюлозное производство	650	100	1,5	2	0,16
сульфитно-целлюлозное производство	700	90	1,6	2	0,17
д) заводов искусственного волокна (вискозы)	90	35	0,7	0,27	-
е) фабрик первичной обработки шерсти:					
I ступень	32	156	-	0,23	-
II ступень	6	33	-	0,2	-
ж) дрожжевых заводов	232	90	1,66	0,16	0,35
з) заводов органического синтеза	83	200	1,7	0,27	-
и) микробиологической промышленности:					
производство лизина	280	28	1,67	0,17	0,15
производство биовита и витаминина	1720	167	1,5	0,98	0,12
к) свинооткормочных комплексов:					
I ступень	454	55	1,65	0,176	0,25
II ступень	15	72	1,68	0,171	0,3

Примечание. Для других производств указанные параметры следует принимать по данным научно-исследовательских организаций.

Период аэрации t_{atv} , ч, в аэротенках-вытеснителях надлежит рассчитывать по формуле

$$t_{atv} = \frac{1 + \phi \cdot a_i}{\rho_{max} C_o \cdot a_i (1 - s)} \left[(C_o + K_o)(L_{mix} - L_{ex}) + K_i C_o \ln \frac{L_{en}}{L_{ex}} \right] K_p, \quad (3.17)$$

где K_p – коэффициент, учитывающий влияние продольного перемешивания: $K_p = 1,5$ при биологической очистке до $L_{ex} = 15$ мг/дм³; $K_p = 1,25$ при $L_{ex} > 30$ мг/дм³;

L_{mix} – БПК_{полн}, определяемая с учетом разбавления рециркуляционным расходом:

$$L_{mix} = \frac{L_{en} + L_{ex}R_i}{1 + R_i}, \quad (3.18)$$

где R_i – степень рециркуляции активного ила, определяемая по формуле (3.19); обозначения величин a_i , ρ_{max} , C_o , L_{en} , L_{ex} , K_l , K_o , φ , s следует принимать по формуле (3.16).

Примечание. Режим вытеснения обеспечивается при отношении длины коридоров L к ширине b свыше 30. При $L/b < 30$ необходимо предусматривать секционирование коридоров с числом ячеек пять-шесть.

Степень рециркуляции активного ила R_i в аэротенках следует рассчитывать по формуле

$$R_i = \frac{a_i}{\frac{1000}{J_i} - a_i}, \quad (3.19)$$

где a_i – доза ила в аэротенке, г/дм³;

J_i – иловый индекс, см³/г.

Примечания: 1. Формула справедлива при $J_i < 175$ см³/г и a_i до 5 г/дм³.

2. Величина R_i должна быть не менее 0,3 для отстойников с илососами, 0,4 – с илоскребами, 0,6 – при самотечном удалении ила.

Величину илового индекса необходимо определять экспериментально при разбавлении иловой смеси до 1 г/л в зависимости от нагрузки на ил. Для городских и основных видов производственных сточных вод допускается определять величину J_i по табл 17.

Таблица 17

Значение илового индекса для различных категорий сточных вод

Сточные воды	Иловый индекс J_i , см ³ /г, при нагрузке на ил q_i , мг/(г·сут)					
	100	200	300	400	500	600
Городские	130	100	70	80	95	130
Производственные:						
а) нефтеперерабатывающих заводов	-	120	70	80	120	160
б) заводов синтетического каучука	-	100	40	70	100	130
в) комбинатов искусственного волокна	-	300	200	250	280	400
г) целлюлозно-бумажных комбинатов	-	220	150	170	200	220
д) химкомбинатов азотной промышленности	-	90	60	75	90	120

Примечание. Для окситенков величина J_i должна быть снижена в 1,3 – 1,5 раза.

Нагрузку на ил q_i , мг БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества ила в сутки, надлежит рассчитывать по формуле

$$q_i = \frac{24(L_{en} - L_{ex})}{a_i(1-s)t_{at}}, \quad (3.20)$$

где t_{at} – период аэрации, ч.

При проектировании аэротенков с регенераторами продолжительность окисления органических загрязняющих веществ t_o , ч, надлежит определять по формуле

$$t_o = \frac{L_{en} - L_{ex}}{R_i a_r (1-s) \rho}, \quad (3.21)$$

где R_i – следует определять по формуле (3.19);

a_r – доза ила в регенераторе, г/дм³, определяемая по формуле

$$a_r = a_i \left(\frac{1}{2R_i + 1} \right), \quad (3.22)$$

ρ – удельная скорость окисления для аэротенков – смесителей и вытеснителей, определяемая по формуле (3.16) при дозе ила a_r .

Продолжительность обработки воды в аэротенке t_{at} , ч, необходимо определять по формуле

$$t_{at} = \frac{2,5}{\sqrt{a_i}} \lg \frac{L_{en}}{L_{ex}}. \quad (3.23)$$

Продолжительность регенерации t_r , ч, надлежит определять по формуле

$$t_r = t_o - t_{at}. \quad (3.24)$$

Вместимость аэротенка W_{at} , м³, следует определять по формуле

$$W_{at} = t_{at} (1 + R_i) q_w, \quad (3.25)$$

где q_w – расчетный расход сточных вод, м³/ч.

Вместимость регенераторов W_r , м³, следует определять по формуле

$$W_r = t_r R_i q_w. \quad (3.26)$$

Прирост активного ила P_i , мг/дм³, в аэротенках надлежит определять по формуле

$$P_i = 0,8C_{cdp} + K_g L_{en}, \quad (3.27)$$

где C_{cdp} – концентрация взвешенных веществ в сточной воде, поступающей в аэротенк, мг/дм³;

K_g – коэффициент прироста; для городских и близких к ним по составу

производственных сточных вод $K_g = 0,3$; при очистке сточных вод в окситенках величина K_g снижается до 0,25.

Необходимо предусматривать возможность работы аэротенков с переменным объемом регенераторов.

Для аэротенков и регенераторов надлежит принимать:

число секций – не менее двух;

рабочую глубину – 3 – 6 м, свыше – при обосновании;

отношение ширины коридора к рабочей глубине – от 1:1 до 2:1.

Аэраторы в аэротенках допускается применять:

мелкопузырчатые – пористые керамические и пластмассовые материалы (фильтросные пластины, трубы, диффузоры) и синтетические ткани;

среднепузырчатые – щелевые и дырчатые трубы;

крупнопузырчатые – трубы с открытым концом;

механические и пневмомеханические.

Число аэраторов в регенераторах и на первой половине длины аэротенков-вытеснителей надлежит принимать вдвое больше, чем на остальной длине аэротенков.

Заглубление аэраторов следует принимать в соответствии с давлением воздухоудовного оборудования и с учетом потерь в разводящих коммуникациях и аэраторах (см. СНиП 2.04.03-85).

В аэротенках необходимо предусматривать возможность опорожнения и устройства для выпуска воды из аэраторов.

При необходимости в аэротенках надлежит предусматривать мероприятия по локализации пены – орошение водой через брызгала или применение химических антивспенивателей. Интенсивность разбрызгивания при орошении следует принимать по экспериментальным данным.

Применение химических антивспенивателей должно быть согласовано с органами санитарно-эпидемиологической службы и охраны рыбных запасов. Рециркуляцию активного ила следует осуществлять эрлифтами или насосами.

Удельный расход воздуха q_{air} , м³/м³ очищаемой воды при пневматической системе аэрации надлежит определять по формуле

$$q_{air} = \frac{q_o(L_{en} - L_{ex})}{K_1 K_2 K_T K_3 (C_a - C_o)}, \quad (3.28)$$

где q_o – удельный расход кислорода воздуха, мг на 1 мг снятой БПК_{полн}, принимаемый при очистке до БПК_{полн} 15 – 20 мг/л – 1,1, при очистке до БПК_{полн} свыше 20 мг/л – 0,9;

K_1 – коэффициент, учитывающий тип аэратора и принимаемый для мелкопузырчатой аэрации в зависимости от соотношения площадей аэрируемой зоны и аэротенка f_{az} / f_{at} по табл.18; для среднепузырчатой и низконапорной $K_1 = 0,75$;

K_2 – коэффициент, зависящий от глубины погружения аэраторов h_a и принимаемый по табл. 19;

K_T – коэффициент, учитывающий температуру сточных вод, который следует определять по формуле

$$K_T = 1 + 0,02(T_w - 20), \quad (3.29)$$

где T_w – среднемесячная температура воды за летний период, °С;

K_3 – коэффициент качества воды, принимаемый для городских сточных вод 0,85; при наличии СПАВ принимается в зависимости от величины f_{az}/f_{at} по табл. 20, для производственных сточных вод – по опытным данным, при их отсутствии допускается принимать $K_3 = 0,7$;

C_a – растворимость кислорода воздуха в воде, мг/дм³, определяемая по формуле

$$C_a \left(1 + \frac{h_a}{20,6} \right) C_T, \quad (3.30)$$

где C_T – растворимость кислорода в воде в зависимости от температуры и атмосферного давления, принимаемая по справочным данным;

h_a – глубина погружения аэратора, м;

C_o – средняя концентрация кислорода в аэротенке, мг/дм³; в первом приближении C_o допускается принимать 2 мг/дм³ и необходимо уточнять на основе технико-экономических расчетов с учетом формул (3.15) и (3.16).

Площадь аэрируемой зоны для пневматических аэраторов включает просветы между ними до 0,3 м.

Интенсивность аэрации J_a , м³/(м²·ч) надлежит определять по формуле

$$J_a = \frac{q_{air} \cdot H_{at}}{t_{at}}, \quad (3.31)$$

где H_{at} – рабочая глубина аэротенка, м;

t_{at} – период аэрации, ч.

Если вычисленная интенсивность аэрации свыше $J_{a \max}$ для принятого значения K_1 , необходимо увеличить площадь аэрируемой зоны; если менее $J_{a \min}$ для принятого значения K_2 – следует увеличить расход воздуха, приняв $J_{a \min}$ по табл. 19.

При подборе механических, пневмомеханических и струйных аэраторов следует исходить из их производительности по кислороду, определенной при температуре 20 °С и отсутствии растворенного в воде кислорода, скорости потребления и массообменных свойств жидкости, характеризующихся коэффициентами K_T и K_3 и дефицитом кислорода $(C_a - C_o) / C_a$.

Число аэраторов N_{ma} для аэротенков и биологических прудов следует определять по формуле

$$N_{ma} = \frac{q_o(L_{en} - L_{ex})W_{at}}{1000K_T K_3 \left(\frac{C_a - C_o}{C_a} \right) t_{at} Q_{ma}}, \quad (3.32)$$

где W_{at} – объем сооружения, м³;

Q_{ma} – производительность аэратора по кислороду, кг/ч, принимаемая по паспортным данным;

t_{at} – продолжительность пребывания жидкости в сооружении, ч; значения остальных параметров следует принимать по формуле (3.28.)

Примечание. При определенном числе механических аэраторов необходимо проверять их перемешивающую способность по поддержанию активного ила во взвешенном состоянии. Зону действия аэратора следует определять расчетом; ориентировочно она составляет 5–6 диаметров рабочего колеса.

Таблица 18

**Коэффициент K_1 и интенсивность аэрации $J_{a \max}$
в зависимости от отношения площади аэрируемой зоны
к площади аэротенка**

f_{az}/f_{at}	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1
K_1	1,34	1,47	1,68	1,89	1,94	2	2,13	2,3
$J_{a \max}, \text{M}^3/(\text{M}^2 \cdot \text{ч})$	5	10	20	30	40	50	75	100

Таблица 19

**Коэффициент K_2 и интенсивность аэрации $J_{a \min}$
в зависимости от отношения площади аэрируемой зоны
к площади аэротенка**

h_a, M	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	3	4	5	6
K_2	0,4	0,46	0,6	0,8	0,9	1	2,08	2,52	2,92	3,3
$J_{a \min}, \text{M}^3/(\text{M}^2 \cdot \text{ч})$	48	42	38	32	28	24	4	3,5	3	2,5

Таблица 20

**Коэффициент качества воды K_3 при наличии СПАВ,
в зависимости от отношения площади аэрируемой зоны
к площади аэротенка**

f_{az}/f_{at}	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1
K_3	0,59	0,59	0,64	0,66	0,72	0,77	0,88	0,99

Аэрационные установки на полное окисление (аэротенки с продленной аэрацией). Аэрационные установки на полное окисление следует применять для биологической очистки сточных вод.

Перед подачей сточных вод на установку необходимо предусматривать задержание крупных механических примесей.

Продолжительность аэрации в аэротенках на полное окисление следует определять по формуле, при этом надлежит принимать:

ρ – среднюю скорость окисления по БПК_{полн} – 6 мг/(г·ч);

a_i – дозу ила – 3 – 4 г/л;

s – зольность ила – 0,35.

Удельный расход воздуха следует определять по формуле (3.15), при этом надлежит принимать:

q_0 – удельный расход кислорода, мг/мг снятой БПК_{полн} – 1,25;

K_1, K_2, K_T, K_3, C_a – по данным, приведенным в формуле (3.28).

Продолжительность пребывания сточных вод в зоне отстаивания при максимальном притоке должна составлять не менее 1,5 ч.

Количество избыточного активного ила следует принимать 0,35 кг на 1 кг БПК_{полн}. Удаление избыточного ила допускается предусматривать как из отстойника, так и из аэротенка при достижении дозы ила 5 – 6 г/л.

Влажность ила, удаляемого из отстойника, равна 98 %, из аэротенка – 99,4 %.

Нагрузку на иловые площадки следует принимать как для осадков, сброженных в мезофильных условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дикаревский В.С., Якубчик П.П., Иванов В.И. и др. Водоснабжение и водоотведение на железнодорожном транспорте : учеб. для вузов на ж-д. транспорте. – М. : Вариант, 1999. – 440 с.
2. Жуков А.Н., Карелин Я.А., Колобанов С.К., Яковлев С.В. Канализация : Учеб. для вузов. – Изд-е 4-е, перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1969. – 596 с.
3. Кедров В.С., Пальгунов П.П., Сомов М.А. Водоснабжение и канализация. Учеб. для вузов. – М. : Стройиздат, 1984. – 288 с.
4. Кривошеин Д.А., Кукин П.П., Лапин В.Л. Инженерная защита поверхностных вод от промышленных стоков : учеб. пособие для вузов. – М. : Высш. шк., 2003 – 344 с.
5. СНиП 2.04.03 – 85. Канализация. Наружные сети и сооружения. – М. : ЦИТП, 1986. – 72 с.
6. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод : учеб. для вузов. – М.: АСВ, 2004. – 704 с.

Учебное издание

Александр Михайлович Асонов

РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ ОЧИСТКИ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

Пособие к курсовым проектам по дисциплинам
«Процессы и аппараты защиты окружающей среды»,
«Системы водоотведения населенных пунктов»
для студентов специальности 280202
«Инженерная защита окружающей среды»

Редактор *И. М. Леушина*

Подписано в печать 04.09.2009. Формат 60 × 84 / 16.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 4,2.
Тираж экз. Заказ №

Издательство УрГУПС
620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66