

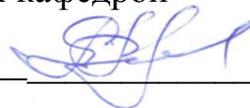
МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Институт горного дела и строительства
Кафедра «Санитарно-технические системы»

Утверждено на заседании кафедры
«Санитарно-технические системы»
«20» января 2022 г., протокол № 6

Заведующий кафедрой



Р.А. Ковалев

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению курсовой работы
по дисциплине (модулю)
«Водоотводящие системы промышленных предприятий»
основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы бакалавриата

по направлению подготовки
08.03.01 – "Строительство"

с профилем
"Водоснабжение и водоотведение"

Форма(ы) обучения: очная, очно-заочная

Идентификационный номер образовательной программы: 080301-02-22

Тула 2022 год

Разработчик(и) методических указаний



Бурдова М.Г., доцент, к.т.н., доцент
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)

(подпись)

1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

1.1. Тематика курсовой работы

Объектом для курсовой работы служит промышленное предприятие.

1.2. Исходные данные

Для разработки курсовой работы студенту выдается задание на проектирование и генеральный план предприятия в масштабе 1:500 с горизонталями через 1 м. В задании помещены исходные данные:

- о климате;
- о грунтах, грунтовых водах;
- о водоеме;
- количество рабочих и числе пользующимися душем.

Необходимые сведения о проектируемом промышленном предприятии приводятся в табл. 1. Эти данные используются для: выбора системы водоотведения производственных, хоз-бытовых и атмосферных сточных вод, разработки технологической схемы очистки сточных вод предприятия, выбора и расчета технологического оборудования.

1.3. Объем курсовой работы

Курсовая работа состоит из расчетно-пояснительной записки с расчетами:

- производственной, хозяйственно-бытовой и дождевой водоотводящих сетей;
- сооружениями очистки дождевых вод;
- насосных станций;
- сооружений очистки производственных стоков;
- сооружения обработки осадков

Графическая часть: генплан очистной станции, профили движения «по воде» и «по илу».

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

1.4. Содержание разделов пояснительной записки

В основе курсовой работы должны находиться конкретные задачи водоотведения, решением которых являются инженерные расчеты и технико-экономические обоснования.

Расчетно-пояснительная записка курсовой работы по "Водоотводящие системы промышленных предприятий" включает:

Титульный лист.

Задание на курсовую работу.

Содержание (с указанием страниц).

Введение.

1. Исходные данные.
2. Выбор системы водоотведения промышленного предприятия.
3. Расчет производственной водоотводящей сет и.
 - 3.1 Определение количества сточных вод.
 - 3.2 Трассировка сети.
 - 3.3 Определение расчетных расходов на расчетных участках сети.
 - 3.4 Гидравлический расчет сети.
4. Расчет хозяйственно-бытовой сети.
 - 4.1 Учет количества сточных вод.
 - 4.2 Трассировка сети.
 - 4.3 Определение расчетных расходов на расчетных участках.
 - 4.4 Гидравлический расчет сети.
5. Расчет дождевой сети.
 - 5.1 Определение количества сточных вод.
 - 5.2 Гидравлический расчет сети.
 - 5.3 Выбор методов и схемы очистки дождевых вод.
 - 5.4 Расчет сооружений очистки.
6. Очистка производственных сточных вод.
 - 6.1 Выбор вариантов очистки.
 - 6.2 Расчет сооружений
7. Расчет профиля движения по "воде".
8. Очистка осадков.
 - 8.1 Выбор вариантов очистки.
 - 8.2 Расчет сооружений
9. Расчет профиля движения по "илу"
10. Расчет насосной станции.

Заключение.

Библиографический список.

В записке после титульного листа и содержания перечисляются задачи выполнения курсовой работы и указываются исходные данные, положенные в основу разрабатываемой курсовой работе в следующем порядке:

- указание материалов, положенных в основу разработки курсовой работы;

- расположение промышленного предприятия;
- рельеф территории;
- климат;
- геология и гидрология;
- водоемы;
- характеристика состава производственных сточных вод;
- требования к очищенной воде.

Очистка сточных вод промышленного предприятия Промышленные сточные воды после соответствующей очистки могут быть выпущены в водоем, городскую канализацию или возвращены в оборотную систему водоснабжения. [1]

В задании на проектирование указывается приемник сточных вод (куда именно направляются сточные воды). Соответственно требованиям, предъявляемым к воде в приемнике, в каждом конкретном случае водоём, городская канализация, оборотная система водоснабжения - рассчитывается необходимая степень очистки. Согласно определенной степени очистки сточных вод выбирается такие очистные сооружения и такая схема очистной станции, который обеспечат нужный эффект очистки и в то же время будут наиболее экономичными по сравнению с другими возможными вариантами.

Из всех возможных вариантов выпуска очищенных сточных вод следует отдавать предпочтение варианту оборотного водоснабжения. Такое решение вопроса обеспечивает наивысший санитарный эффект - поступление сточных вод в водоем снижается на 80-85 %, а в некоторых случаях прекращается совсем. Принимая во внимание, что в промышленных сточных водах часто содержатся вещества, представляющие ценность для рассматриваемого производства (сырье, готовая продукция и т.д.). решение вопросов очистки сточных вод и обработки осадков должно в максимальной степени учитывать возможность утилизации этих веществ. Утилизация отходов, получаемых при очистке промстоков, значительно увеличивает экономический эффект очистной установки промпредприятия.

В некоторых случаях, помимо устройства очистной станции (установки) для основной потока промышленных сточных вод требуется организация одной или нескольких локальных очисток для специфических сточных вод отдельных объектов производства. В объем курсовой работы не входит детальная разработка таких локальных очисток, но в пояснительной записке необходимо кратко описать схемы локальных очисток установок, а при вы-

числении средних концентраций загрязнений общего стока промпредприятия учесть эффект их работы.

В настоящее время требования к очищенным сточным водам все возрастает. Поэтому часто бывает необходимо предусматривать доочистку уже очищенных промстоков. В этом случае в объем курсовой работы включается и разработка сооружений доочистки сточных вод.

Студент при выполнении курсовой работы должен самостоятельно выбирать методы очистки и сооружения, разрабатывать технологическую схему очистки и решать другие вопросы, связанные с выполнением курсовой работы.

В разделе "Экономические расчеты" требуется определить себестоимость очистки 1 м³ отечных вод, поступающих на очистную станцию. Порядок определения следующий:

- сметная стоимость на строительство системы водоотведения города;
- годовые эксплуатационные расходы по обслуживанию и содержанию системы водоотведения. Для выполнения последнего пункта определяются расходы:
 - на амортизационные отчисления;
 - на текущий ремонт;
 - на электроэнергию;
 - на реагенты;
 - на заработную плату основным рабочим;
 - на заработную плату управленческому аппарату;
 - неучтенные расходы.

Стоимость строительства системы водоотведения определяется на основании установленного расчетами выбора сооружений по укрупненным показателям стоимости отдельных сооружений [6, 7].

Расчет капиталовложений сводится в таблице 2.

Таблица № 2

Определение сметной стоимости строительства системы водоотведения города И.

Наименование сооружения	Количество сооружений	Сметная стоимость, тыс.руб.		Общая сметная стоимость, тыс.руб.
		строительно-монтажные работы	оборудование	
[Всего по системе:				

Годовые эксплуатационные расходы по системе определяются по формуле:

$$C_{\text{год}} = C_a + C_{\text{т.р}} + C_{\text{э}} + C_{\text{з.п}} + C_u + C_{\text{сп}} + C_{\text{р}}, \quad (1)$$

где C_a - амортизационные отчисления, принимаемые в процентах от сметной стоимости сооружений.

$C_{\text{т.р}}$ - расходы на текущий ремонт сооружений, руб/год;

$C_{\text{э}}$ - расхода на электроэнергию, руб/год;

$C_{\text{з.п}}$ - заработная плата рабочих, обслуживающих сооружения, руб/год;

C_u - расходы на управление, руб/год;

Спр - прочие производственные расходы, руб/год.

$$\text{Годовые амортизационные отчисления, тыс.руб/год, определяется как } C_a \\ = N_a \cdot C_t, \quad (2)$$

где N_a - норма годовых амортизационных ОТЧИСЛЕНИЙ, %;

C - сметная стоимость по системе, тыс.руб.

Ср - расходы на реагенты, руб/год.

Нормы годовых амортизационных отчисления составляет: для сетей ВиК - 4%, для зданий и сооружений -6%, для оборудования - 12 % [7].

Тогда годовые амортизационные отчисления определяется как:

- по водоотводящей сети $C_a \text{ сети} = 0,04 * C_b$ где C_b - сметная стоимость водоотводящей сети, тыс.руб/год (из табл.2);
- по зданиям и сооружениям $C_a \text{ зд} = 0,06 * C_2$, где C_2 - сметная стоимость здания и сооружений, тыс.руб/год (из табл.2).
- по оборудованию $C \text{ об} = 0,12 * C_3$, где C_3 - сметная стоимость оборудования, тыс.руб/год (из табл.2).

Общая сумма годовых амортизационных отчислений, тыс.руб/год;

$$C_a = C_a \text{ сети} + C_a \text{ зд} + C_a \text{ об}.$$

Расходы на текущий ремонт сооружений, тыс.руб/год, определяется по формуле:

$$C_{т.р} = N_{т.р} * C, \quad (3)$$

где $N_{т.р}$ - процент расхода на текущий ремонт;

$N_{т.р} = 1\%$ от сметной стоимости системы [7].

Годовые расходы на электроэнергию, тыс.руб/год,

$$C_э = C \times N_{уд} \times Q_{год} / 1000 \quad (4)$$

где $N_{уд}$ - удельная норма расхода электроэнергии на 1000 м³ суточной жидкости, кВт* ч/м³

Приближенная удельная норма расхода электроэнергии очистными станциями аэрации с полной биологической очисткой стоков берется в размере 200-240 кВт ч на 1000 м³ сточной воды, очищаемой по всему циклу очистки [6].

$Q_{год}$ - годовая производительность очистной станции, м³/год.

C - цена за 1 кВт-ч электроэнергии, = 1,1 коп.

Годовые расходы на реагенты для обеззараживания сточных вод, тыс.руб/год. рассчитываются по формуле $C_{реаг} = D_{ср} \times C_{год} \times C_p$ (5)

где Дср - доза хлора для обеззараживания воды, т/м³ [8].

Цр - цена тонны реагента, руб/т. Цена 1 т жидкого хлора (99,8%) с учетом оптовой цены, заготовительно-складских расходов и транспорта составляет 98,9 руб [6].

Расходы на заработную плату производственным рабочим сводится в табл. 3. Ориентировочное количество рабочих по отдельным участкам принимается из табл. 36 [9].

Таблица 3

Расчет заработной платы основных производственных рабочих

1 Наименования сооружений	2 Количество сооружений	3 Норма обслуживания, чел./соор.	4 Всего рабочих, чел	5 Среднегодовая зарплата одного рабочего, руб.	6 Годовой ; фонд зар- ; платы, тыс. руб.
1	2	3	4	5	6

Расходы на заработную плату административно-управленческого персонала сводится в табл.4. Ориентировочное количество цехового и административно-управленческого персонала, сотрудников лаборатории и т.д. принимается по табл. 36, 37 [9] и табл. 66. 53 [7].

Таблица 4

Расчет заработной платы административно-управленческого персонала

1 Наименование цехов, сооружений	2 Число работников, чел.	3 Среднемесячная зарплата, руб.	4 Годовой фонд зарплат, ; тыс.руб. L . - . - — —
1	2	3	4

Прочие неучтенные расходы учитывают износ и ремонт малоценных и быстроизнашивающихся инструментов, приспособлений и хозяйственного инвентаря: расходы по технике безопасности и охране

труда, расходы на командировки. Неучтенные расходы принимаются в размере 6 % от общей суммы эксплуатационных расходов без учета амортизационных отчислений.

Таким образом, определив годовые эксплуатационные расходы по системе водоотведения по формуле (I) и разделив их на годовой расход сточных вод, можно вычислить себестоимость очистки 1 м³ сточных вод.

1.5. Содержание графической части

Графическая часть курсовой работы должна содержать перечисленные ниже чертежи:

- генплан предприятия с нанесением всех сетей водоотведения, очистной станции, насосной станции, с указанием выпусков в городскую канализацию. водоем или с системой оборотного водоснабжения;
- генплан очистной станции в масштабе 1:500 или 1:1000 с указанием всех основных и вспомогательных сооружений, коммуникаций между отдельными узлами станции, дорог, насыпей и выемок, элементов благоустройства;
- гидравлические профили по движению сточной воды, осадков, выполненных в масштабах: горизонтальном 1:500 или 1:1000, вертикальном 1:50 или 1:100;
- чертежи одного из сооружений очистной станции (план и разрез) в масштабе 1:25 или 1:50;
- экономические сравнения вариантов работ;
- главный коллектор должен быть четко выделен и выполнен более жирной линией, чем остальные коллекторы. На сети водоотведения должны быть показаны сооружения, расчетные точки, длина и диаметры труб.

2. Оформление и защита курсовой работы

Каждая страница пояснительной записки должна быть пронумерована, начиная с титульного листа, который считается первой страницей. Номер страницы ставится в правом верхнем углу.

Все формулы должны быть пронумерованы, номер формулы ставится с правой стороны листа в круглых скобках на уровне формулы.

Рисунки пояснительной записки должны иметь нумерацию, подпись.

В конце пояснительной записки приводится список использованной литературы. Ссылки на литературные источники даются в тексте в квадратных скобках в порядке их использования.

Графическая часть курсовой работы должна быть выполнена в соответствии с правилами Единой системы конструкторской, документации (ЕСКД).

Приложение (методики расчета)

Глава 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОЙ СТЕПЕНИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРИ ВЫПУСКЕ В ВОДОЕМ

В канализацию населенных мест поступают как хозяйственно-бытовые воды от жилых общественных и промышленных зданий, так и производственные стоки.

С целью охраны водоемов от загрязнений сточные воды перед выпуском в водоем должны подвергаться очистке до такой степени, чтобы не оказывать вреда водопользованию и рыболовству. Вид водопользования устанавливается на основании «Санитарных условий спуска сточных вод в водоем [2].

Степень очистки зависит от расходов сточной и речной вод, от концентрации в них органических загрязнений и взвешенных веществ, от категории водоема или вида водопользования.

1.1. Расчетные расходы

При проектировании очистных сооружений расчетные расходы бытовых и производственных сточных вод должны определяться по суммарному графику притока как при подаче их насосами, так и при самотечном их поступлении. В случае отсутствия графика притока расчетные расходы определяются по следующей методике.

1. Количество хозяйственно-бытовых сточных вод канализованного района, м³/сут,

$$Q_{rs} = \frac{q_{rs} N_{rs}}{1000},$$

где q_{rs} - норма водоотведения сточных вод канализованного района на одного человека в сутки, л/сут [3];

N_{rs} - количество людей, проживающих в канализованном районе.

2. Количество хозяйственно-фекальных сточных вод, поступающих в канализацию из неканализованного района, м³/сут,

$$Q_{lns} = \frac{q_{lns} N_{lns}}{1000},$$

где q_{lns} - количество сточных вод, поступающих в канализацию из неканализованного района на одного человека, л/сут, [1, п. 5.1.4]

N_{lns} - количество людей, проживающих в неканализованных районах.

На очистные сооружения поступает смесь бытовых и производственных сточных вод.

3. Общий среднесуточный расход бытовых и производственных сточных вод, м³/сут,

$$Q_{mid} = Q_{rs} + Q_{lns} + \Sigma Q_{ind},$$

где Q_{rs} - расход хозяйственно-фекальных сточных вод из канализованных районов, м³/сут;

Q_{lns} - расход хозяйственно-фекальных сточных вод из неканализованного района, м³/сут;

ΣQ_{ind} - суммарный расход производственных сточных вод, м³/сут.

4. Максимальный суточный расход сточных вод, поступающих на очистные сооружения, м³/сут,

$$Q_{max} = (Q_{rs} + Q_{lns})K_{gen.max} + \Sigma(Q_{ind}K_{ind}),$$

где $K_{gen.max}$ - максимальный коэффициент суточной неравномерности водоотведения [1, т.1].

5. Минимальный суточный расход сточных вод; м³/сут

$$Q_{min} = (Q_{rs} + Q_{lns})K_{gen.min} + \Sigma(Q_{ind} / K_{ind}),$$

где $K_{gen.min}$ - минимальный коэффициент суточной неравномерности водоотведения бытовых сточных вод; [1, т.1].

При расчете очистных сооружений, кроме суточных расходов сточных вод, требуется определять максимальный и минимальный часовой и секундный расход (м³/ч, м³/с).

Учитывая интенсификацию работы очистных сооружений, распределительные лотки и основные технологические каналы на очистной станции рассчитывают на максимальный секундный расход с коэффициентом 1,4 [1, п. 9.1.16].

Пример 1.1. Определить расчетный расход сточных вод.

Город разделен на два района. В канализованном районе проживает 15000 чел. с нормой водоотведения 300 л/сут на одного жителя, в неканализованном районе проживает 3000 чел. В канализацию поступают сточные воды - от мясокомбината в количестве 1000 м³/сут и химического завода - 850 м³/сут с коэффициентами неравномерности водоотведения K_{ind} соответственно 1,1 и 1,3.

1. Количество хозяйственно-фекальных сточных вод, м³/сут, от канализуемого и неканализуемого районов

$$Q_{rs} = \frac{q_{rs}N_{rs}}{1000} = \frac{300 \cdot 15000}{1000} = 4500,$$

$$Q_{lns} = \frac{q_{ens}N_{ens}}{1000} = \frac{25 \cdot 3000}{1000} = 75.$$

2. Общее количество бытовых сточных вод

$$Q_{sew} = Q_{rs} + Q_{lns} = 4500 + 75 = 4575 \text{ м}^3 / \text{сут} = 190,62 \text{ м}^3 / \text{ч} = 52,95 \text{ л} / \text{с}.$$

3. Общее количество городских сточных вод

$$Q_{mid} = Q_{sew} + \Sigma Q_{ind} = 4575 + 1000 + 850 = 6425 \text{ м}^3 / \text{сут} = 267,7 \text{ м}^3 / \text{ч} = 74,36 \text{ л} / \text{с}.$$

4. Коэффициенты неравномерности водоотведения по табл.1 СП [1] при $Q_{sew} = 52,95$ л/с. $K_{gen.max} = 1,7$; $K_{gen.min} = 0,55$.

5. Максимальный суточный расход городских сточных вод

$$Q_{max} = Q_{sew}K_{gen.max} + \Sigma Q_{ind}K_{ind} = 4575 \cdot 1,7 + 1000 \cdot 1,1 + 850 \cdot 1,3 = 9982,5 \text{ м}^3 / \text{сут} = 415,9 \text{ м}^3 / \text{ч} = 115,5 \text{ л} / \text{с}.$$

6. Минимальный суточный расход городских сточных вод

$$Q_{\min} = Q_{\text{sew}} K_{\text{gen.min}} + \Sigma Q_{\text{ind}} / K_{\text{ind}} = 4575 \cdot 0,55 + \frac{1000}{1,1} + \frac{850}{1,3} = 9982,5 \text{ м}^3 / \text{сут} =$$

$$= 170 \text{ м}^3 / \text{ч} = 47,2 \text{ л} / \text{с}.$$

1.2. Расчетное количество жителей

Очистные сооружения рассчитываются на так называемое приведенное количество жителей, т.е. на количество жителей, которое будет проживать в данном населенном пункте на конец расчетного срока, плюс эквивалентное число жителей (условное), равноценное по вносимым загрязнениям количеству загрязнений производственных сточных вод:

$$N_{br} = N_{RS} + N_{egw},$$

где N_{br} - приведенное количество жителей;

N_{RS} - расчетное количество жителей для данного населенного пункта;

N_{egw} - эквивалентное количество жителей, от которого вносится столько же загрязнений, сколько их содержится в данном количестве производственных сточных вод.

Эквивалентное количество жителей определяется:

- для расчета сооружений механической очистки по концентрации взвешенных веществ;

- для расчета сооружений биологической очистки – по БПК₂₀; биохимической потребности в кислороде;

$$N_{eguC} = \frac{\Sigma C_{\text{ind}} Q_{\text{ind}}}{65},$$

$$N_{eguL} = \frac{\Sigma L_{\text{ind}} Q_{\text{ind}}}{40},$$

где L_{ind} - БПК₂₀ производственных сточных вод, мг/л;

C_{ind} - концентрация взвешенных веществ в производственных сточных водах, мг/л;

40 – норма БПК₂₀ в осветленных сточных водах на одного жителя, г/сут.;

65 – норма взвешенных веществ на одного жителя, г/сут [1, т.19].

ПРИМЕР 1.2. Определить приведенное число жителей для примера 1.1. при условии, что концентрация взвешенных веществ в сточных водах мясокомбината составляет 400 мг/л, а химического завода – 520 мг/л, БПК₂₀ соответственно 800 и 600 мг/л.

1. Эквивалентное число жителей по БПК₂₀

$$N_{eguL} = \frac{\Sigma L_{\text{ind}} Q_{\text{ind}}}{40} = \frac{800 \cdot 1000 + 600 \cdot 850}{40} = 32750 \text{ чел.}$$

2. Эквивалентное число жителей по количеству взвешенных веществ

$$N_{egwC} = \frac{\Sigma C_{ind} Q_{ind}}{65} = \frac{400 \cdot 1000 + 520 \cdot 850}{65} = 12954 \text{ чел.}$$

3. Приведенное число жителей по БПК₂₀ и количеству взвешенных веществ соответственно составляет

$$N_{brL} = N_{rs} + N_{egwL} = 15000 + 3000 + 32750 = 50750 \text{ чел.}$$

$$N_{brC} = N_{rs} + N_{egwC} = 15000 + 3000 + 12954 = 30954 \text{ чел.}$$

1.3. Концентрация взвешенных веществ и БПК₂₀ сточных вод

При расчете первичных отстойников, метантенков и двухъярусных отстойников необходимо учитывать, что количество осадка зависит как от концентрации взвешенных веществ в сточных водах, так и от эффекта очистки. Поэтому для расчета очистных сооружений требуется знать расчетную концентрацию взвешенных веществ, которая определяется либо анализом для производственных сточных вод либо расчетом для бытовых сточных вод по формуле:

$$C_{sew} = \frac{65 \cdot 1000}{n_{rs}},$$

где n_{rs} - среднесуточная норма водоотведения на одного жителя, л/сут.

При наличии нескольких районов с различной нормой водоотведения общая концентрация взвешенных веществ в бытовых сточных водах вычисляется:

$$C_{sew} = \frac{C_{sew}^1 Q_1 + C_{sew}^2 Q_2 + \dots + C_{sew}^n Q_n}{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n},$$

где C_{sew}^i – концентрация взвешенных веществ соответственно для каждого района, мг/л;

Q_i – среднесуточные расходы соответственно по районам, м³/сут.

При поступлении производственных сточных вод в бытовую канализацию концентрация взвешенных веществ в общем стоке определяется по формуле:

$$C_{en} = \frac{C_{sew} Q_{sew} + \Sigma(C_{ind} Q_{ind})}{Q_{sew} + \Sigma Q_{ind}},$$

где Q_{sew} – среднесуточный расход бытовых вод, м³/сут;

C_{ind} – концентрация взвешенных веществ в производственных сточных водах того или иного предприятия, мг/л;

Q_{ind} – суточный расход сточной воды соответственно каждого предприятия, м³/сут.

Сооружения биологической очистки рассчитываются на БПК₂₀.

БПК₂₀ бытовых сточных вод берется либо по фактическим замерам, либо определяется в зависимости от нормы водоотведения по формуле

$$L_{sen} = \frac{40 \cdot 1000}{n_{rs}}$$

При наличии в городе районов с различной нормой водоотведения общая БПК₂₀ бытовых сточных вод находится по формуле

$$L_{sew} = \frac{L_{sen}^1 Q_1 + L_{sen}^2 Q_2 + \dots + L_{sen}^n Q_n}{Q_{mid}}$$

где L_{sen}^1, L_{sen}^n - БПК₂₀ соответственно для каждого района, мг/л;

Q_1, \dots, Q_n - среднесуточные расходы бытовых сточных вод соответственно по районам, м³/сут.

Если в населенном пункте в канализацию принимаются стоки от промышленных предприятий, то общая БПК₂₀ стока, поступающего на очистные сооружения, составит

$$L_{en} = \frac{L_{sew} Q_{sew} + \Sigma L_{ind} Q_{ind}}{Q_{sew} + \Sigma Q_{ind}}$$

где L_{sew} - общая БПК₂₀ бытовых сточных вод, мг/л;

Q_{sew} - среднесуточный расход бытовых вод, м³/сут;

L_{ind} - БПК₂₀ производственных сточных вод для каждого предприятия, мг/л;

Q_{ind} - суточный расход производственных сточных вод соответственно по каждому предприятию, м³/сут.

Пример 1.3. Для условий примеров 1.1 и 1.2 определить концентрацию взвешенных веществ и величину БПК₂₀ смеси бытовых и производственных сточных вод.

1. Концентрация взвешенных веществ в бытовых сточных водах, мг/л,

$$C_{sew} = \frac{65 \cdot 1000}{n_{rs}} = \frac{65 \cdot 1000}{300} = 216,66.$$

2. Концентрация взвешенных веществ в общем стоке, мг/л,

$$C_{en} = \frac{C_{sew} Q_{sew} + \Sigma C_{ind} Q_{ind}}{Q_{sew} + \Sigma Q_{ind}} = \frac{216,66 \cdot 4575 + 400 \cdot 1000 + 520 \cdot 850}{4575 + 1000 + 850} = 285,3.$$

3. БПК₂₀ бытовых сточных вод, мг/л,

$$L_{sew} = \frac{40 \cdot 1000}{n_{rs}} = \frac{40 \cdot 1000}{300} = 133,33$$

4. БПК₂₀ общего стока, мг/л,

$$L_{en} = \frac{L_{sew} Q_{sew} + \Sigma L_{ind} Q_{ind}}{Q_{sew} + \Sigma Q_{ind}} = \frac{133,33 \cdot 4575 + 800 \cdot 1000 + 600 \cdot 850}{4575 + 1000 + 850} = 298,8.$$

1.4. Смешение сточных вод с водой водоема

Сточные воды при выпуске в водоем должны быть очищены до такой степени, чтобы не оказывать на водоем вредного влияния. Для правильного определения необходимой степени очистки сточных вод в каждом конкретном случае надо иметь данные о количестве и составе сточных вод и данные о водоеме, в том числе:

- расход воды в расчетном створе;
- содержание растворенного кислорода, взвешенных веществ и БПК₂₀ для этого створа;
- температуру воды летом и зимой;
- глубину и ширину водоема.

Необходимая степень очистки сточных вод определяется по общесанитарным и органолептическим показателям вредности. Связь между санитарными требованиями, условиями спуска сточных вод и необходимой степенью очистки выражается балансовым уравнением

$$C_{en}q_w + C_r a Q_r \leq (a Q_r + q_w) C_{lim},$$

где C_{en} – концентрация загрязнения сточных вод, при которой не будут превышены допустимые пределы, г/м³;

q_w – средний расход сточных вод, м³/с;

C_r – концентрация этого же загрязнения в воде водоема выше места выпуска сточных вод, г/м³;

a – коэффициент смешения;

Q_r – расход воды в водоеме, м³/с;

C_{lim} – предельно допустимая концентрация загрязнения в водоеме, г/м³.

Выпуск в водоем сточных вод должен осуществляться таким образом, чтобы была обеспечена возможность наиболее полного смешения сточных вод с водой водоема в месте их спуска. Степень разбавления воды водоема сточными водами зависит от скорости смешения во времени и пространстве, что определяется гидравлическими особенностями водоема: глубиной, скоростью и струйностью течения, уклоном дна, наличием отмелей, перекатов и резких поворотов, а также действием ветра, температурными и другими условиями. Скорость смешения зависит от конструкции выпуска – лучшее смешение достигается рассеивающим выпуском.

При выпуске сточных вод в водоем полного смешения их с речной водой не происходит. Фактически в смешении участвует только часть расхода реки. Поэтому для учета расхода водоема, участвующего в смешении, вводят коэффициент смешения a , который определяется по формуле Родзиллера [2].

$$a = \frac{1 - \exp^{-\alpha \sqrt[3]{l_f}}}{1 + \frac{Q_r}{q_w} \exp^{-\alpha \sqrt[3]{l_f}}},$$

где \exp – основание натурального логарифма;

l_f – расстояние от места выпуска сточных вод до расчетного створа, принимаемого на расстоянии 1 км до пункта ближайшего водопользования, м;

α – коэффициент, учитывающий влияние гидравлических факторов,

$$\alpha = \varphi \zeta \sqrt[3]{\frac{E}{q_w}};$$

φ – коэффициент извилистости русла реки,

$$\varphi = \frac{l_f}{l};$$

l – расстояние от места выпуска сточных вод до водозабора по прямой;

ζ – коэффициент, зависящий от способа выпуска сточных вод, равный 1 для берегового выпуска и 1,5 для выпуска в фарватер (руслового выпуска);

E – коэффициент турбулентной диффузии,

$$E = \frac{VN}{200};$$

V – средняя скорость воды в реке, м/с;

N – средняя глубина водоема, м.

Значения $\exp^{-\alpha \sqrt[3]{l_f}}$ в зависимости от величины $\alpha \sqrt[3]{l_f}$ приведены в табл.1.1.

Таблица 1.1

Зависимость $\exp^{-\alpha \sqrt[3]{l_f}}$ от $\alpha \sqrt[3]{l_f}$

$\alpha^3 \sqrt{l_f}$	$\exp^{-\alpha^3 \sqrt{l_f}}$								
0,5	0,614	1,15	0,317	2,55	0,0781	3,95	0,0194	5,7	0,00337
0,52	0,595	1,2	0,301	2,6	0,0745	4	0,0184	5,8	0,00304
0,54	0,583	1,25	0,286	2,65	0,0709	4,05	0,0175	5,9	0,0027
0,56	0,571	1,3	0,272	2,7	0,0675	4,1	0,0167	6	0,00249
0,58	0,556	1,35	0,259	2,75	0,0644	4,15	0,0159	6,1	0,00224
0,6	0,549	1,4	0,251	2,8	0,061	4,2	0,0151	6,2	0,00204
0,62	0,538	1,45	0,235	2,85	0,058	4,25	0,0144	6,3	0,00185
0,64	0,528	1,5	0,223	2,9	0,0552	4,3	0,0138	6,4	0,00167
0,66	0,517	1,55	0,212	2,95	0,0525	4,35	0,013	6,5	0,00151
0,68	0,507	1,6	0,202	3	0,05	4,4	0,0123	6,6	0,00138
0,7	0,497	1,65	0,192	3,05	0,0477	4,45	0,0118	6,7	0,00124
0,72	0,487	1,7	0,183	3,1	0,0457	4,5	0,0112	6,8	0,00112
0,74	0,477	1,75	0,174	3,15	0,043	4,55	0,0107	6,9	0,00102
0,76	0,4688	1,8	0,165	3,2	0,0408	4,6	0,0101	7	0,00092
0,78	0,459	1,85	0,159	3,25	0,0389	4,65	0,0096	7,1	0,00083
0,8	0,45	1,9	0,155	3,3	0,0381	4,7	0,0091	7,2	0,00076
0,82	0,441	1,95	0,144	3,35	0,0352	4,75	0,00872	7,3	0,00068
0,84	0,433	2	0,136	3,4	0,0335	4,8	0,0083	7,4	0,00062
0,86	0,425	2,05	0,129	3,45	0,0319	4,85	0,00791	7,5	0,00056
0,88	0,416	2,1	0,123	3,5	0,0303	4,9	0,00749	7,6	0,0005
0,9	0,407	2,15	0,117	3,55	0,0289	4,95	0,00717	7,7	0,00046
0,92	0,399	2,2	0,111	3,6	0,0275	5	0,00675	7,8	0,00042
0,94	0,392	2,25	0,106	3,65	0,0262	5,1	0,00614	7,9	0,00037
0,96	0,384	2,3	0,100	3,7	0,0249	5,2	0,00555	8	0,00034
0,98	0,376	2,35	0,0958	3,75	0,0236	5,3	0,00503	8,5	0,000204
1	0,368	2,4	0,0911	3,8	0,0225	5,4	0,00457	9	0,000124
1,05	0,35	2,45	0,0865	3,85	0,0214	5,5	0,00415	9,5	0,000076
1,1	0,333	2,5	0,0824	3,9	0,0204	5,6	0,00372	10	0,000046

Расстояние от места выпуска сточных вод до створа полного смешения теоретически равно бесконечности. В действительности протяженность загрязненности струи до створа полного смешения определяется по формуле:

$$l_f = \left[\frac{2,3}{\alpha} \lg \frac{aQ_r + q_w}{\left(\frac{100}{80} - 1 \right) q_w} \right]^3.$$

За створ практически полного смешения принимается створ, в котором сточная вода смешивается с 80% расхода воды в реке.

Пример 1.4. Определить коэффициент смешения воды водоема со сточной водой, если расход воды в реке $Q_r = 5 \text{ м}^3/\text{с}$. Водозабор находится на расстоянии $l = 8 \text{ км}$ от места выпуска сточных вод. Средняя скорость воды в реке $V = 0,3 \text{ м/с}$, средняя глубина реки $H = 2 \text{ м}$, выпуск сточных вод запроектирован русловым.

1. Коэффициент извилистости русла реки

$$\varphi = \frac{l_f}{l} = \frac{8-1}{5,2} = 1,3.$$

2. Коэффициент турбулентной диффузии

$$E = \frac{VH}{200} = \frac{0,3 \cdot 2}{200} = 0,003.$$

3. Коэффициент, учитывающий влияние гидравлических факторов:

$$\alpha = \varphi \zeta \sqrt[3]{\frac{E}{q_w}} = 1,3 \cdot 1,5 \sqrt[3]{\frac{0,003}{0,5}} = 0,36.$$

4. Коэффициент смешения

$$a = \frac{1 - \exp^{-\alpha^3 \sqrt{l_f}}}{1 + \frac{Q_r}{q_w} \exp^{-\alpha^3 \sqrt{l_f}}} = \frac{1 - \exp^{-0,36^3 \sqrt{7000}}}{1 + \frac{5}{0,5} \exp^{-0,36^3 \sqrt{7000}}} = 0,8.$$

5. Фактическое расстояние от места выпуска сточных вод до створа полного смешения

$$l_f = \left[\frac{2,3}{0,36} \lg \frac{0,88 \cdot 5 + 0,5}{\left(\frac{100}{80} - 1\right) \cdot 0,5} \right]^3 = 1519 \text{ м}.$$

1.5. Определение необходимой степени очистки сточных вод по взвешенным веществам

Необходимая степень очистки по взвешенным веществам определяется по формуле, %,

$$\mathcal{E} = \frac{100(C_{en} - C_{dem})}{C_{en}},$$

где C_{dem} – предельно допустимая концентрация взвешенных веществ в спускаемых сточных водах, мг/л:

$$C_{dem} = C_{san} \left(\frac{aQ_r}{q_w} + 1 \right) + C_r,$$

C_r – концентрация взвешенных веществ в воде водоема до места выпуска сточных вод, мг/л;

C_{san} – допустимое по санитарным нормам увеличение концентрации взвешенных веществ в водоеме после выпуска сточных вод (в зависимости от вида водопользования), мг/л.

Пример 1.5. Определить предельно допустимую концентрацию взвешенных веществ в очищенной воде, спускаемой в водоем.

Расход воды в реке $Q_r = 5 \text{ м}^3/\text{с}$, средний расход сточных вод $q_w = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$, концентрация взвешенных веществ в воде водоема до спуска сточных вод $C_r = 8 \text{ мг/л}$, коэффициент смешения $a = 0,88$, водоем 1-й категории. Концентрация взвешенных веществ в сточной воде – 320 мг/л .

1. Допустимая концентрация взвешенных веществ в сточной воде, поступающей в водоем, мг/л,

$$C_{dem} = C_{san} \left(\frac{aQ_r}{q_w} + 1 \right) + C_r = 0,25 \cdot \left(\frac{0,88 \cdot 5}{0,5} + 1 \right) + 8 = 10,45.$$

2. Необходимая степень очистки, %,

$$\Theta = \frac{100(C_{en} - C_{dem})}{C_{en}} = \frac{100(320 - 10,45)}{320} = 96,7.$$

1.6. Определение необходимой степени очистки сточных вод по БПК₂₀

БПК₂₀ очищенной воды определяется по формуле:

$$L_{dem} = \frac{aQ_r}{q_w 10^{-K_{os}t}} (L_{lim} - L_r 10^{-K_{or}t}) + \frac{L_{lim}}{10^{-K_{os}t}},$$

где L_{lim} – предельно допустимая БПК₂₀ смеси речной и сточной воды в речном створе (не более принятых нормативов: 3 или 6 мг/л О₂ соответственно для 1-й и 2-й категорий водоема);

L_r – БПК₂₀ речной воды до места выпуска сточных вод, г/м³;

K_{os} – константа скорости потребления кислорода сточной водой (табл.1.2);

K_{or} – константа скорости потребления кислорода речной водой (табл.1.3);

t – продолжительность перемещения воды от места выпуска сточных вод до расчетного пункта водопользования, сут.

Таблица 1.2

Значения константы скорости потребления кислорода K_{os}

Температура, °С	0	5	9	12	15	18	20	22	24	26	28
K_{os}	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14

Таблица 1.3

Значение константы скорости реэрации растворения кислорода K_{or}

Водоемы	Температура воды в водоеме, °С					
	5	10	15	20	25	30
Слабопроточные или непроточные	-	-	0,11	0,15	-	-
Реки с большой скоростью течения, $V > 5$ м/с	0,16	0,17	0,185	0,2	0,215	0,236
Реки с большой скоростью течения, $V > 5$ м/с	0,38	0,425	0,46	0,5	0,54	0,585
Малые реки с быстрым течением, $V > 1$ м/с	-	0,684	0,74	0,8	0,865	0,935

Значения $10^{-K_{os}t}$ приведены в табл.1.4.

Таблица 1.4

Значения величины $10^{-K_{os} \cdot t}$ при переменных K_{os} и t

K_{os}	Значения величины $10^{-K_{os} \cdot t}$ при t сут									
	0,25	0,5	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6
0,04	0,981	0,955	0,912	0,871	0,832	0,794	0,795	0,692	0,631	0,575
0,06	0,966	0,933	0,871	0,813	0,769	0,708	0,661	0,575	0,501	0,487
0,08	0,955	0,912	0,832	0,769	0,692	0,631	0,757	0,489	0,408	0,331
0,1	0,944	0,891	0,794	0,708	0,631	0,572	0,601	0,398	0,316	0,251
0,12	0,933	0,871	0,795	0,661	0,575	0,501	0,436	0,331	0,251	0,191
0,14	0,922	0,851	0,724	0,617	0,525	0,447	0,332	0,275	0,2	0,145
0,16	0,912	0,832	0,692	0,575	0,479	0,398	0,331	0,229	0,159	0,11
0,18	0,903	0,813	0,661	0,537	0,437	0,355	0,288	0,191	0,126	0,083
0,2	0,891	0,794	0,631	0,501	0,393	0,316	0,251	0,618	0,1	0,163
0,22	0,881	0,776	0,603	0,478	0,363	0,283	0,219	0,132	0,079	0,049
0,24	0,871	0,759	0,575	0,437	0,331	0,251	0,191	0,11	0,063	0,036
0,26	0,861	0,741	0,55	0,407	0,302	0,224	0,166	0,091	0,05	0,075
0,28	0,851	0,724	0,525	0,38	0,275	0,199	0,145	0,076	0,05	0,021
0,3	0,541	0,708	0,501	0,335	0,251	0,178	0,126	0,063	0,032	0,16
0,4	0,794	0,631	0,398	0,251	0,158	0,1	0,063	0,025	0,01	0,004
0,5	0,75	0,565	0,316	0,178	0,1	0,056	0,032	0,01	0,003	0,001

Продолжительность сут, перемещения воды от места выпуска сточных вод до рассматриваемого створа определяется из выражения

$$t = \frac{l_f}{86400 \cdot V},$$

где l_f – расстояние по фарватеру от места выпуска сточных вод до рассматриваемого створа расчетного пункта водопользования, м;

V – средняя скорость воды в реке, м/с.

Пример 1.6. Определить допустимую БПК₂₀ очищенной сточной воды для данных примеров 1.1 – 1.5 при скорости воды в реке $V=0,3$ м/с, БПК₂₀ речной воды $L_r=2$ мг/л, $t=20$ °С, $a=0,88$, БПК₂₀ смеси $L_{en}=200$ мг/л, $l_f=7$ км.

1. Продолжительность перемещения воды от места выпуска сточных вод до створа, сут,

$$t = \frac{l_f}{86400 \cdot V} = \frac{7000}{86400 \cdot 0,3} = 0,27.$$

2. Допустимая БПК₂₀ сточных вод, мг/л,

$$L_{dem} = \frac{aQ_r}{q_w 10^{-K_{os}t}} (L_{lim} - L_r 10^{-K_{or}t}) + \frac{L_{lim}}{10^{-K_{os}t}} = \frac{0,88 \cdot 5}{0,5 \cdot 10^{-0,190,27}} (3 - 2 \cdot 10^{-0,190,27}) + \frac{3}{10^{-0,190,27}} = 14,26$$

3. Эффект очистки сточных вод, %,

$$\Theta = \frac{100(L_{en} - L_{dem})}{L_{en}} = \frac{100 \cdot (566,08 - 14,26)}{566,08} = 92,9.$$

1.7. Определение необходимой степени очистки сточных вод по содержанию растворенного в воде водоема кислорода

Необходимая степень очистки сточных вод определяется по формуле, %,

$$\Theta = \frac{100(L_{en} - L_{dem}^{\circ})}{L_{en}},$$

где L_{en} – БПК₂₀ смеси бытовых и производственных сточных вод, поступающих на очистные сооружения, мг/л;

L_{dem}° – содержание O_2 в сточных водах, спускаемых в водоем, мг/л,

$$L_{dem}^{\circ} = \frac{2,5aQ_r}{q_w} (O_r - 0,4L_r - 4) - \frac{4}{0,4},$$

где O_r – концентрация растворенного кислорода в речной воде до места выпуска сточных вод, мг/л;

L_r – БПК₂₀ речной воды, мг/л;

0,4 – коэффициент пересчета БПК₂₀, определяемый лабораторным путем, в двухсуточный БПК₂;

4 – наименьшая концентрация растворенного кислорода, которая должна сохраниться в воде водоема, мг/л.

Пример 1.7. Определить допустимую БПК₂₀ очищенной сточной воды, исходя из количества растворенного в воде водоема кислорода 6,6 мг/л, БПК₂₀ речной воды 3,5 мг/л и данных примеров 1.1 – 1.6.

1. БПК₂₀ сточных вод, спускаемых в водоем, мг/л,

$$L_{dem} = \frac{2,5aQ_r}{q_w} (O_r - 0,4L_r - 4) - \frac{4}{0,4} = \frac{2,5 \cdot 0,88 \cdot 5}{0,5} \cdot (6,6 - 0,4 \cdot 3,5 - 4) - 10 = 16,4$$

2. Эффект очистки сточных вод, %,

$$\Theta = \frac{100(200 - 16,4)}{200} = 91,8.$$

Глава 2. РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ

2.1. Выбор метода очистки сточных вод и составление технологической схемы очистной станции

Бытовые сточные воды содержат различные загрязнения органического и минерального происхождения, которые находятся как в растворенном виде, так и в виде нерастворенных частиц различной крупности. Для очистки бытовых сточных вод применяются в основном два метода: механическая очистка и биологическая очистка.

Механическая очистка служит для выделения из сточной воды находящихся в ней нерастворенных загрязнений чисто механическими способами – путем процеживания и отстаивания. Сточная вода последовательно проходит каскад сооружений, состоящих из решеток, песколовков и отстойников.

Биологическая очистка проводится для устранения органических загрязнений с помощью аэробных микроорганизмов, способствующих их окислению и минерализации. Метод биологической очистки заимствован из естественных процессов, протекающих в природе при самоочищении водоемов и почв.

Механическую очистку как самостоятельный метод применяют в тех случаях, когда соответствующую воду используют повторно в производстве или по местным и санитарным условиям ее можно сбросить в водоем. В большинстве случаев механическая очистка является предварительной стадией перед биологической очисткой. Механические способы очистки сточных вод снижают количество взвешенных веществ от первоначального на 40-50 %. Более высокий эффект достигается благодаря применению различных способов интенсификации очистки, к которым относятся преаэрация, биокоагуляция и осветление во взвешенном слое.

Общая масса взвешенных веществ в бытовых сточных водах составляет около 65 г на одного человека в сутки, из них оседающих веществ - от 35 до 50 г (в среднем 40 г на одного человека в сутки по сухому веществу), что составляет 60 - 75 % общей массы. При удалении части домашнего мусора путем дробления сплава по канализационной сети происходит значительное увеличение содержания взвешенных веществ в сточных водах, которое достигает 100 г на одного человека в сутки.

В зависимости от потребной степени очистки выбирается метод очистки. Если снижение БПК₂₀ не требуется, а степень снижения взвешенных веществ не превышает 50 %, то следует ограничиться механической очисткой. Если требуется степень снижения концентрации взвешенных веществ более 50 %, а снижение БПК₂₀ находится в пределах 80 %, то принимается частичная биологическая очистка. Если необходимо снизить БПК₂₀ до 15 мг/л, то проводят полную биологическую очистку. Состав очистных сооружений, их последовательное соединение выбираются на основании производительности станции, требуемой степени очистки, метода обработки осадка, климатических и почвенных условий, рельефа местности, обеспеченности электроэнергией, наличия местных материалов для строительства очистных сооружений и т.д.

Расчет очистных сооружений, входящих в состав очистной станции, производится по формулам и данным, указанным в справочной литературе [4, 5]. Рекомендуется применять типовые сооружения, поэтому в них следует проверять фактические скорости и продолжительность пребывания воды. Очистные сооружения рассчитываются в следующем порядке: сначала рассчитываются сооружения по ходу воды - решетки, песколовки, водоизмерительные лотки, отстойники, сооружения биологической очистки, доочистки, смесители, контактные резервуары, выпуски, лотки, трубы, дюкеры, водосливы. В сооружениях для механической очистки сначала выделяют наиболее тяжелые и крупные взвеси, а затем основную массу нерастворенных загрязнений. При расчете решеток и песколовок так же рассчитываются подводящие лотки, так как режим уровней в лотках будет определять живое сечение решеток и песколовок.

Далее рассчитываются сооружения, обеспечивающие процесс биологической очистки и для обработки, осуществляется подбор воздухоловков и воздухопроводов. Каналы станции очистки сточных вод и лотки сооружений должны рассчитываться на максимальный секундный расход с коэффициентом запаса 1,4, а скорость движения сточной воды в них должна быть не менее самоочищающей, т.е. скорости, при которой нерастворимые вещества находятся во взвешенном состоянии. При расчете очистных сооружений число отдельных сооружений или секции следует выбирать одинаковой кратности для всей очистной станции. Например: две песколовки, четыре первичных отстойника, два аэротенка, четыре вторичных отстойника и т.д.

При выполнении курсового и проекта выпускной квалификационной работы желательно предусматривать разработку двух-трех вариантов очистной станции.

2.2. Расчет решеток

Решетки применяются для задержания из сточных вод крупных загрязнений и являются сооружениями предварительной очистки. Ширина прозоров решетки должна быть не более 16 мм [1, п. 9.2.1.1], скорость движения сточных вод между стержнями решетки не должна превышать 1 м/с, но должна быть больше скорости движения сточных вод в подводящем канале. Вместо решеток на очистных сооружениях можно применять решетки-дробилки, скорость движения воды в которых 1,2 м/с.

Решетки должны устраиваться на всех очистных станциях не зависимо от способа подачи на них воды – самотеком или под напором после насосной станции, имеющей решетки с прозорами более 20 мм. Число единиц оборудования надлежит определять по паспортным данным оборудования и расчетным расходом сточных вод. Решетки подразделяются на неподвижные, подвижные и решетки-дробилки. Неподвижные решетки бывают вертикального типа (РММВ) и наклонного типа (МГ).

Количество отбросов с плотностью 750 кг/м^3 составляет 8 л/год на одного жителя, влажность их 80 %, зольность 7-8 %. Очистка решеток от задержанных отбросов производится вручную при накоплении их в количестве менее $0,1 \text{ м}^3$ в сутки.

Снятые отбросы могут направляться на полигон твердых бытовых отходов или в дробилку для измельчение. Измельченная масса сбрасывается в сточную воду перед решеткой или перекачивается в метантенки. Для возможности отключения решеток в каналах до и после решеток устанавливаются щитовые затворы. Расчет решеток заключается в определении их размеров и потерь напора в них и осуществляется в следующем порядке:

Предусматривается рассмотрение гидравлического режима лотка перед решеткой.

1. Требуемая площадь решеток, м^2 ,

$$F_q = \frac{q_w}{V_g},$$

где q_w – максимально-секундный расход сточных вод, м³/с;

V_g – скорость движения сточной воды в прозорах решетки: $V_g=0,8 \dots 1,0$ м/с []

2. Требуемое число рабочих решеток:

$$N_q = \frac{F_q}{w},$$

где w – площадь прохода решетки, м², принимается из характеристики типовых решеток (табл. 2.1).

3. Число прозоров решетки

$$n = \frac{q_w}{bh_1V_g} K_w,$$

где q_w – максимальный расход сточных вод, м³/с;

b – ширина прозоров между стержнями решетки, м;

h_1 – глубина воды в канале перед решеткой, м;

V_g – средняя скорость движения воды в решетке, м/с;

K_w – коэффициент, учитывающий стеснение потока граблями и задержанными загрязнениями, $K_w = 1,05$.

4. Ширина решетки

$$B_g = S(n - 1) + bn,$$

где S – толщина стержня, м ($S = 0,01$ м).

Площадь прозоров рабочей части решетки определяется расчетом, которая при ручной очистке должна быть не менее удвоенной площади живого сечения подводящего канала и не менее 1,2 живого сечения при механической очистке.

Для предупреждения образования вихревого потока канал перед решеткой плавно уширяют путем изменения направления стенок на угол $\varphi = 20^\circ$.

5. Длина уширения канала перед решеткой

$$l_1 = 1,37(B_g - B_c),$$

где B_c – ширина подводящего канала, м.

6. Длина сужения после решетки

$$l_2 = 0,5l_1.$$

7. Потери напора в решетке

$$h_g = \zeta \frac{V_c^2 P}{2g},$$

где ζ – коэффициент местного сопротивления решетки, зависящей от формы стержней,

$$\zeta = \beta \left(\frac{S}{b} \right)^{4/3} \sin \alpha;$$

β – коэффициент, учитывающий форму стержней:

$\beta = 2,42$ – при прямоугольных стержнях,

$\beta = 1,83$ – при прямоугольных стержнях с закругленными краями,

$\beta = 1,79$ – при круглых стержнях;

V_c – средняя скорость движения воды в канале перед решеткой, м/с;

P – коэффициент, учитывающий увеличение потерь напора вследствие засорения решетки, $P = 3$;

g – ускорение силы тяжести, м/с²;

α – угол наклона решетки.

Основные данные по типовым решеткам с механизированными граблями приведены в табл.2.1.

Таблица 2.1

Характеристика типовых решеток с механизированными граблями

Тип решетки	Размеры канала перед решеткой, мм		Площадь прохода решетки	Производительность решетки по воде qw , тыс.м/сут	Ширина решетки B_g , м	Радиус от шарнира до низа решетки, мм	Масса, кг
	ширина B_c	глубина H_c					
РММВ-1000	1000	1000	0,3	26	-	-	1690
МГ-9Т	1000	1200	0,38	33	1425	2050	1320
МГ-7Т	800	1400	0,39	35	1338	2100	1000
МГ-11Т	1000	1000	0,57	50	1520	2425	1500
МГ-10Т	1000	2000	0,74	65	1580	2550	1800
МГ-8Т	1400	2000	1,25	110	1955	2550	1657
МГ-12Т	1600	2000	1,5	130	2175	2850	1870
МГ-6Т	2000	2000	1,9	165	2675	2850	1951
МГ-5Т	2000	3000	2,1	185	2175	3810	2690

Суточное количество отбросов, снимаемых с решеток:

$$Q_g = \frac{aN_{br}C}{365 \cdot 1000},$$

где a – количество отбросов, снимаемых с решеток на одного жителя в год, $a = 1,5-25$ л/(ж·год); [1, п. 9.2.1.2]

N_{br} – приведенное число жителей по количеству взвешенных веществ.

По расчетному значению Q_g подбирается типовая дробилка (табл.2.2).

Таблица 2.2

Техническая характеристика молотковых дробилок

Производительность,	Мощность электродвигателя	Размеры разгрузочного	Расход	Масса,
---------------------	---------------------------	-----------------------	--------	--------

Q_g , кг/ч	N , кВт	отверстия, мм		ВОДЫ q_w , м ³ /ч	кг
		ширина b	длина l		
300-600	20	230	300	2,5-5	437
1000	55,75	400	524	6-8	2000
2000	100	400	700	18	23070

Пример 2.1. Рассчитать решетку при расходе сточных вод $q_w = 1 \text{ м}^3/\text{с}$.

1. Размеры канала перед решеткой для прямоугольного сечения канала [6,7]. Расход воды, поступающий на одну решетку, $q_w = 500 \text{ л/с}$, $V_s = 0,83 \text{ м/с}$; ширина $B_c = 1000 \text{ мм}$, уклон $i = 8 \text{ }^0/_{00}$ высота воды $h_l = 0,61 \text{ м}$.

Предварительно по табл.2.1 выбираем две решетки типа МГ-11Т с размерами канала решетки 1400x2000 мм.

2. Требуемая площадь решеток, м²,

$$F_q = \frac{q_w}{V_g} = \frac{1}{1} = 1.$$

3. Требуемое число рабочих решеток типа МГ – ПГ

$$N_q = \frac{F_q}{w} = \frac{1,0}{0,57} \approx 2 \text{шт.}$$

Принимаем число резервных решеток 1

4. Количество прозоров решетки

$$n = \frac{q_w}{bh_1V_g} K_w = \frac{0,5}{0,016 \cdot 0,61 \cdot 1} 1,05 = 53,8.$$

5. Ширина решетки, м,

$$B_g = S(n+1) + b_n = 0,01(54-1) + 0,016 \cdot 54 = 1,394 < 1,520.$$

6. Длина уширения канала перед решеткой, м,

$$l_1 = 1,37(1,520-1) = 0,712; \quad l_2 = 0,5l_1 = 0,5 \cdot 0,712 = 0,36.$$

7. Коэффициент местного сопротивления решетки

$$\zeta = \beta \left(\frac{S}{b} \right)^{4/3} = 1,83 \left(\frac{10}{16} \right)^{4/3} = 1,03$$

8. Потери напора в решетке, м

$$h_g = \zeta \frac{V_c^2 P}{2g} = 1,03 \frac{0,83^2}{2 \cdot 9,81} 3 = 0,11.$$

9. Суточное количество отбросов, снимаемых с решеток, м³/сут,

$$Q_g = \frac{aN_{br}}{365 \cdot 1000} = \frac{8 \cdot 92830}{365 \cdot 1000} = 2,03.$$

10. Объем осадка по массе, т/сут,

$$W = Q_g \gamma = 2,03 \cdot 0,75 = 1,52.$$

Для измельчения отбросов принимаем стандартную молотковую дробилку производительностью 300 кг/ч.

11. Общая строительная высота решетки, м,

$$H = h_1 + h_g + h_b = 0,61 + 0,11 + 0,3 = 1,02.$$

12. Длина решетки

$$L = l_1 + l_g + l_2 = 0,548 + 2,425 + 0,274 = 3,247 \text{ м}.$$

Принятая решетка типа МГ-11Т (две рабочих и одна резервная) удовлетворяет нашему условию.

Задержание и измельчение крупных отбросов, содержащихся в сточной воде, способом подводного измельчения осуществляются при помощи решеток-дробилок. Подбор решеток-дробилок следует производить, пользуясь указаниями Ю.М.Ласкова [5].

2.3. Расчет песколовок

Песколовки необходимо предусматривать в составе станции биологической очистки городских и близких к ним по составу производственных сточных вод производительностью более 100 м³/сут [1, п. 9.2.2.1.]

Песколовки предназначены для выделения из сточных вод тяжелых минеральных примесей (главным образом, песка). Они устанавливаются перед отстойниками.

По характеру движения воды песколовки подразделяются на горизонтальные (с круговым и прямолинейным движением воды), вертикальные, тангенциальные и аэрируемые (с винтовым движением воды). Осадок в песколовках выпадает под действием гравитационных сил. В песколовках задерживается песок гидравлической крупностью $U_o = 13,2 \dots 24,2$ мм/с (песок крупностью не более 0,15 мм), что составляет около 65 % всего количества песка, содержащегося в сточных водах.

Количество осадка, выпадающего в песколовке, принимается равным 0,02-0,03 л на одного человека в сутки. Влажность осадка в среднем 60 %, плотность 1,5 т/м³. Число песколовок должно быть не менее двух (все рабочие).

Тип песколовки необходимо выбирать с учетом производительности очистной станции. Для станций производительностью до 50 000 м³/сут можно принять тангенциальные песколовки, производительностью свыше 10 000 м³/сут – горизонтальные, производительностью свыше 20 000 м³/сут – аэрируемые.

Рассчитываются песколовки таким образом, чтобы в них выпадали песок и другие тяжелые минеральные частицы, но не выпадал осадок органического происхождения. Расчет горизонтальных и аэрируемых песколовок производится в следующей последовательности:

1. Гидравлический режим канала перед песколовкой:

Показатели	Расход, л/с
------------	-------------

	q_{max}	q_{min}	q_{mid}
Ширина канала, м			
Уклон канала			
Скорость в канале			
Наполнение, h_s			

$$H_s \geq h_s \geq 0,5 \text{ м.}$$

2. Требуемая длина песколовки, м

$$L_s = \frac{1000k_s V_s H_s}{U_0},$$

где k_s – коэффициент, зависящий от конструкции песколовки, принимается равным 1,7[1],

V_s – скорость движения сточной воды в песколовке, м/с;

U_0 – гидравлическая крупность, мм/с;

H_s – расчетная глубина песколовки, м.

Показатели принимаются по таблицам [7]. По расходу и скорости в канале более 0,7 м/с подбираем ширину и такой уклон канала, чтобы наполнение h_s было не менее 0,5. Скорость и наполнение будут разными в зависимости от расходов сточных вод.

3. Площадь зеркала песколовки, м²,

$$F_s = \frac{q_w}{U},$$

где q_w – максимально секундный расход, л/с;

U – средняя скорость осаждения песка, мм/с,

$$U = \sqrt{U_0^2 - (0,05V_s)^2}.$$

U является результатом взаимодействия гидравлической крупности песка и горизонтальной составляющей скорости сточной воды в песколовке V_s .

4. Объем образовавшегося песка за двое суток (продолжительность, в течение которой допустимо накопление песка)

$$W_s = \frac{aN_{brc}T}{1000},$$

где a – норма выпавшего осадка на одного жителя в сутки;

T – продолжительность копления песка, сут;

N_{brc} – приведенное число жителей по количеству взвешенных веществ.

2.3.1. Горизонтальные песколовки

Скорость сточных вод при максимальном притоке $V_{max} = 0,3$ м/с, при минимальном притоке $V_{min} = 0,15$ м/с. При этих скоростях пребывания сточной воды в песколовке $t = 30 \dots 60$ с.

Гидравлическая крупность песка, выпавшего в осадок $U_0 = 18,7 \dots 24,2$ мм/с. Расчетная глубина песколовки принимается от 0,25 до 1 м.

Основные данные по типовым горизонтальным песколовкам с плоским дном и прямолинейным движением воды приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Характеристика типовых горизонтальных песколовков

Пропускная способность, м ³ /сут	Число отделений, <i>n</i>	Размеры, м		
		Длина, <i>L</i>	Ширина отделения, <i>B</i>	Наполнение (глубина проточной части), <i>H_s</i>
25	2	9	1,25	0,55
50	2	15	2,8	0,55
70	2	18	3	0,58
100	3	18	3	0,55
140	2	18	4,5	0,67
200	3	18	4,5	0,65
280	4	18	4,5	0,67

Пример 2.2. Рассчитать песколовку при расходе воды $q_{wmax}=1,5 \text{ м}^3/\text{с}$, $q_{wmin} = 0,96 \text{ м}^3/\text{с}$.

1. Данные гидравлического расчета подводящего канала к одной песколовке:

Расчетные данные	Расход, л/с	
	$q_{max} = 1500$	$q_{min} = 960$
Уклон <i>i</i>	0,0008	0,0008
Ширина <i>B</i> , м	1250	1250
Наполнение <i>h</i> , м	1,1	0,76
Скорость <i>v</i> , м/с	1,1	1,0

2. Требуемая длина песколовки, м

$$L_s = \frac{1000k_s V_s H_s}{U_0} = \frac{1000 \cdot 1,7 \cdot 0,55 \cdot 0,3}{18,7} = 15.$$

3. Площадь зеркала песколовки, м²,

$$F_s = \frac{q_w}{U} = \frac{1500}{11,17} = 134,29,$$

$$U = \sqrt{U_0^2 - (0,05V_s)^2} = \sqrt{349,69 - 225} = 11,17.$$

4. Общая ширина, м,

$$B_s = \frac{F_s}{L_s} = \frac{134,29}{15} = 8,95.$$

5. Принимаем число песколовок $n_s = 2$ на основании [1, п. 9.2.2.1],
 $2 \leq n_s \leq 8$

$$B = \frac{B_s}{n_s} = \frac{8,95}{2} = 4,48.$$

6. По B'_s и L_s подбираем типовую песколовку с размерами

$$B'_{s \text{ тип}} = 4,5 \text{ м} \quad \text{число отделений } n = 2,$$

$$L_{s \text{ тип}} = 18 \text{ м} \quad \text{наполнение } H_s = 0,67 \text{ (см. табл. 2.3).}$$

7. Объем образовавшегося песка за двое суток (продолжительность, в течение которой допустимо накопление песка), м^3 ,

$$W_s = \frac{aN_{brc}T}{1000} = \frac{0,02 \cdot 92830 \cdot 2}{1000} = 3,71.$$

8. Высота слоя песка, занимаемого в песколовке, м,

$$h_{ss} = \frac{W_s}{n_s L_s^{mun} B'_{s \text{ mun}}} = \frac{3,71}{2 \cdot 18 \cdot 4,5} = 0,023.$$

9. Строительная высота песколовки, м

$$H_{ss} = H_s + h_{ss} + h_n + h_b = 0,5 + 0,023 + 0,3 + 0,3 = 1,123,$$

где h_n – нейтральный слой между слоем песка и движением сточной воды, принимаемый 0,3-0,5 м;

h_b – высота бортика, принимаемая 0,3-0,5 м.

10. Проверка

Осуществляется по фактической скорости движения сточной воды в песколовке при максимальном и минимальном притоке сточной воды. Фактическая скорость не должна быть более чем расчетная 0,3 м/с при максимальном притоке, а минимальная скорость должна быть больше 0,15 м/с, но меньше чем фактическая скорость при максимальном притоке.

$$10.1. V_{s \text{ max}} = \frac{q_{\text{max}}}{n_s B'_{s \text{ mun}} H_{s \text{ max}}} = \frac{1,5}{2 \cdot 4,5 \cdot 0,67} = 0,25, \text{ м/с.}$$

$$10.2. V_{s \text{ min}} = \frac{q_{\text{min}}}{n_s B'_{s \text{ mun}} H_{s \text{ min}}} = \frac{0,96}{2 \cdot 4,5 \cdot 0,58} = 0,18, \text{ м/с.}$$

10.3. Проверка по продолжительности протекания сточных вод при максимальном притоке должна быть не менее 30 с:

$$t = \frac{h_s}{U_f} = \frac{0,67}{0,0178} = 37,6 > 30 \text{ с,}$$

где U_f – фактическая скорость осаждения песка при максимальном притоке, определяемая исходя из типовых размеров песколовки обратно действию пункта 2.

2.3.2. Песколовки с круговым движением воды

Песколовки с круговым движением воды относятся к горизонтальному типу. Расчет песколовок с круговым движением воды производится так же, как и расчет горизонтальных песколовок с прямолинейным движением.

1. Требуемая длина песколовки, м,

$$L_s = \frac{1000k_s V_s H_s}{U_0}.$$

2. Фактическая длина песколовки, м,

$$L_f = 2\pi \left(\frac{D_s}{2} - \frac{B_{\text{жс}}}{2} \right),$$

D_s – диаметр песколовки, м (табл.2.4);

$B_{\text{жс}}$ – ширина кольца желоба, м (табл. 2.4)

$$L_f \geq L_s.$$

3. Проверка

$$t = \frac{H_s}{U} \geq 30 \text{ с.}$$

Последовательность дальнейшего расчета такая же, как в рассмотренном выше примере 2.2.

Основные данные по типовым песколовкам с круговым движением воды приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Характеристика типовых горизонтальных песколовок с круговым движением воды

Пропускная способность		Диаметр песколовки, мм	Расстояние между центрами песколовок, мм	Расстояние между осями подводящего лотка и камеры переключения, мм	Расстояние между осями песколовки и камеры переключения, мм	Ширина кольца желоба, мм	Ширина отводящего лотка, мм
м ³ /сут	л/с						
1400-2700	31-56	4000	6000	2000	4700	500	300
2700-4200	56-83						
4200-7000	83-133						
7000-10000	133-183						
10000-17000	183-278	6000	1000	2500	5000	1000	600
17000-25000	278-394						
25000-40000	394-590						
4000-64000	590-920						
			11000		4850		
						1600	1200

2.3.3. Аэрируемые песколовки

Для аэрируемых песколовок расчетная глубина песколовки принимается равной половине общей глубины, т. е. $H_s = 0,7...3,5$ м. Гидравлическая крупность песка $U_0 = 13,2...18,7$ мм/с. Интенсивность аэрации $J_s = 3...5$ м³/(м²·ч). При максимальном притоке скорость сточных вод $V_s = 0,08...0,12$ м/с. Отношение ширины отделения песколовки к глубине $B:H = 1,5$.

Частицы сточной воды под действием аэрации движутся по спирали и выпадают в придонной области в сторону аэраторов. Время пребывания воды в песколовке составляет 2 – 3 мин. Осадок из аэрируемых песколовок содержит до 90 – 95 % песка.

Расчет аэрируемых песколовок производится аналогично расчету горизонтальных песколовок.

Основные данные по типовым аэрируемым песколовкам приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Характеристика типовых аэрируемых песколовок

Пропускная способность, м ³ /сут	Число отделений, n	Размеры, м			Отношение B/H	Расход воздуха, м ³ /ч
		ширина, B	глубина, H	длина, L		
70	2	2	2,1	12	1,34	200
100	3	3	2.1	12	1.34	300
140	2	4.5	2.8	18	1.5	460
200	3	4.5	2.8	18	1.5	690
280	4	4.5	2.8	18	1.5	920

2.3.4. Тангенциальные песколовки

Особенностью тангенциальной песколовки является малая глубина ее проточной части и поступление сточной воды по касательной. Расчет песколовки производится исходя из гидравлической крупности 18,7 мм/с. Нагрузка на песколовку принимается $q_s = 110$ м³/(м²·ч) при максимальном притоке; $q_s = 70$ м³/(м²·ч) – при минимальном притоке. Диаметр песколовки принимается не более 6 м, глубина – равной половине диаметра.

Площадь зеркала воды песколовки

$$F = \frac{q_w^{\max}}{q_s}$$

где q_w^{\max} – максимальный расход сточной воды, м³/ч;

q_s – гидравлическая нагрузка, м³/(м²·ч).

Зная площадь зеркала и задавшись числом песколовок, можно определить диаметр песколовки:

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi n}}$$

Количество задержанного песка находится по формуле

$$Q_s = \frac{aN_{bre}T}{1000}.$$

2.3.5. Песковые площадки

Для обезвоживания песка, выпавшего в песколовках, служат песковые площадки, представляющие собой карты, огражденные валиками высотой 1–2 м.

Нагрузка на площадки q_{ss} не более $3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$. Площадок должно быть не менее трех. На станциях производительностью до 75 тыс. $\text{м}^3/\text{сут.}$ для хранения песка применяются песковые бункера, рассчитываемые на 1,5 – 5-суточное хранение.

Пример 2.3. Определить размеры песковых площадок при количестве песка $W_s = 20 \text{ м}^3/\text{сут.}$

1. Объем осадка в год, м^3 ,

$$W_{ss} = W_s T = 20 \cdot 365 = 7300.$$

2. Площадь песковых площадок, м^2 ,

$$F = \frac{W_{ss}}{q_{ss}} = \frac{7300}{3} = 2433,3.$$

Принимаем три песковые площадки площадью 811 м^2 , размером 24x34 м каждая.

Пример 2.4. Определить размеры песковых бункеров для хранения песка в количестве $Q_s = 4 \text{ м}^3/\text{сут.}$

1. Объем бункера, м^3 , за 5 суток составит

$$W_b = Q_s T = 4 \cdot 5 = 10.$$

2. Бункера выполняют круглыми в плане в количестве 2 штук с высотой $H = 2 \text{ м}$. Тогда

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot w}{H \cdot \pi \cdot h}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10}{2 \cdot 3,14 \cdot 2}} = 1,8.$$

2.4. Расчет отстойников

Отстойники относятся к сооружениям осветления сточных вод, которые рекомендуется применять на очистных сооружениях свыше $1000 \text{ м}^3/\text{сут}$ [1, п. 9.2.4.1.]

Отстойники предназначены для задерживания из сточных вод нерастворенных грубодисперсных веществ преимущественно органического происхождения под действием гравитационной силы. Первичные отстойники используются как для предварительной, так и для окончательной очистки сточных вод.

По направлению движения воды отстойники делятся на два основных вида: горизонтальные и вертикальные; разновидностью горизонтальных отстойников являются радиальные. В горизонтальных отстойниках вода движется горизонтально, а в вертикальных – снизу вверх, в радиальных – от центра к периферии или от периферии к центру. Количество взвешенных веществ, выпадающих в первичных отстойниках, зависит от начального их содержания в поступающей на очистку сточной воде, от характеристики примесей и

продолжительности отстаивания. Основная масса грубодисперсных взвешенных веществ выпадает в осадок в течение 1,5 ч. Скорость осаждения и полнота выделения из воды тонкодисперсных частиц зависят от их способности к агломерации.

Вынос взвешенных веществ из первичных отстойников для последующей биологической очистки сточных вод в биофильтрах и аэротенках не должен быть более 150 мг/л. Количество взвешенных веществ в осветленных сточных водах при выпуске их после первичных отстойников в водоем должно соответствовать требованиям правил охраны поверхностных вод от загрязнений сточными водами.

В осветленных сточных водах, подаваемых на двухступенчатые аэротенки, аэротенки с полной минерализацией ила или на частичную очистку, концентрация взвеси не нормируется. Количество первичных отстойников принимается не менее двух. При минимальном числе отстойников расчетный объем их необходимо увеличивать в 1,2-1,3 раза. Выбор типа отстойников, их числа и конструкции должен производиться на основе их технико-экономического сравнения с учетом местных условий.

Вертикальные отстойники применяют при низком уровне грунтовых вод и расходе сточных вод до 20 000 м³/сут. Горизонтальные и радиальные отстойники применяют независимо от уровня грунтовых вод, горизонтальные - при расходе свыше 15 000 м³/сут, радиальные и с вращающимися распределительными устройствами - при расходе свыше 20000 м³/сут.

Исходными данными для расчета отстойников независимо от их типа являются: расход сточных вод, начальная и конечная концентрации взвешенных веществ.

Требуемый эффект очистки, %,

$$\Theta = \frac{C_{en} - C_{ex}}{C_{en}} 100,$$

где C_{en} - концентрация взвешенных, мг/л; в сточной воде, поступающей в отстойник;

C_{ex} - концентрация взвешенных веществ на выходе из отстойника (не более 150 мг/л).

Гидравлическая крупность, мм/с,

$$U_0 = \frac{1000k_{set}H_{set}}{t_{set} \left(\frac{k_{set}H_{set}}{h_1} \right)^{n_2}},$$

где t_{set} - продолжительность отстаивания, принимаемая исходя из C_{en} и Θ , по [9, табл. 12.1];

k_{set} - коэффициент использования объема;

H_{set} - высота зоны отстаивания;

n_2 - коэффициент, зависящий от свойств взвешенных веществ, принимаемый по чертежу [1];

h_1 - высота зоны отстаивания в лабораторных условиях: $h_1 = 0,5$ м.

Влажность осадка бытовых сточных вод принимается равной 95 % при самотечном удалении осадка и 93,5 - 94 % - при удалении плунжерными насосами. Количество выгружаемого осадка необходимо определять в зависимости от принятого эффекта очистки сточных вод.

Количество осадка, выпадающего в отстойник, м³/сут,

$$Q_{mud} = \frac{Q_w (C_{en} - C_{ex})}{(100 - P_{mud}) \gamma_{mud} 10^4},$$

где γ_{mud} - плотность осадка, 1 т/м³ ;

P_{mud} - влажность осадка, 94 – 96 % [1, п. 9.2.4.8];

Q_w - максимальный суточный расход, м³/сут.

Удаление осадка из первичных отстойников осуществляется под гидростатическим давлением не менее 1,5 м вод. ст. или плунжерными насосами. Объем иловой камеры принимается равным количеству выпадающего осадка за период не более 2 сут, при механизированном удалении осадка - по количеству выпадающего осадка за 8 ч. Диаметр иловых труб для удаления осадка из отстойников принимают не менее 200 мм. [1, п. 9.2.4.7].

Высота борта отстойника над поверхностью сточной воды принимается 0,3 м [1, п. 9.2.4.11]

2.4.1. Горизонтальные отстойники

Горизонтальные отстойники представляют собой прямоугольные в плане, открытые резервуары с приямком для сбора выпавшего осадка, обычно располагаемым в начале сооружения. Для горизонтальных отстойников глубина проточной части принимается 1,5-3 м, высота нейтрального слоя - на 0,3 м выше днища на выходе из отстойников.

Подбор типового отстойника осуществляется произвольно.

После подбора типового отстойника проверяется фактическая скорость сточной воды:

$$V_f = \frac{q_w}{3,6 H_{set} B_{set} n_{set}},$$

где q_w - максимальный расход сточных вод, м³/с;

B_{set} - ширина типового отстойника, м;

H_{set} - глубина проточной части отстойника, м.

n_{set} - число отделений.

Производительность одного отстойника, м³/ч,

$$q_{set} = 3,6 L_{set} B_{set} k_{set} (U_0 - v),$$

где L_{set} и B_{set} - размеры типового отстойника;

v - вертикальная составляющая [1].

Основные данные по типовым горизонтальным первичным отстойникам приведены в табл. 2.6.

Техническая характеристика типовых горизонтальных первичных отстойников

Показатель	Отстойник шириной, м	
	6	9
Длина, м	24/30	30/36
Гидравлическая глубина, м	3,2 - 4,4	3,2 - 4,4
Расчетная глубина, м	3-4	3-4
Рабочий объем, м ³	536/690	1050/1260
Размеры сечения отводящего лотка с зубчатым водосливом, мм	450x600	600x900
Нагрузка на водослив, м ³ /с	5,4	8,6
Объем илового приемка, м ³	17	31

Пример 2.5. Рассчитать горизонтальный отстойник при расходе сточных вод $q_w = 5400 \text{ м}^3/\text{ч} = 1,5 \text{ м}^3/\text{с} = 1500 \text{ л/с}$. Концентрация взвешенных веществ в поступающей сточной воде $C_{en} = 280 \text{ мг/л}$, температура $t = 13 \text{ }^\circ\text{C}$.

1. Требуемый эффект очистки

$$\Theta = \frac{C_{en} - C_{ex}}{C_{en}} 100 = \frac{280 - 150}{280} 100 = 46,4 \%$$

2. Гидравлическая крупность частиц взвешенных веществ

$$U_0 = \frac{1000 k_{set} H_{set}}{t_{set} \left(\frac{k_{set} H_{set}}{h_1} \right)^{n_2}} = \frac{1000 \cdot 0,5 \cdot 3}{720 \left(\frac{0,5 \cdot 3}{0,5} \right)^{0,22}} = 1,712 \text{ мм/с.}$$

3. Производительность одного отстойника, м³/ч,

$$q_{set} = 3,6 L_{set} B_{set} k_{set} (U_0 - v) = 3,6 \cdot 0,5 \cdot 36 \cdot 9 \cdot 1,712 = 998,44.$$

где L_{set} – длина отстойника, м, (см. табл. 2.6);

B_{set} – ширина отстойника, м, (см. табл. 2.6).

4. Число отделений исходя из [1, п. 9.2.4.3]

$$2 \leq n_{set} \leq 8,$$

$$n_{set} = \frac{q_w}{q_{set}} = \frac{5400}{998,44} = 5,4.$$

Принимаем к установке $n_{set} = 6$.

5. Количество осадка, м³/ч,

$$Q_{mud} = \frac{q_w (C_{en} - C_{ex})}{(100 - P_{mud}) \gamma_{mud} 10^4} = \frac{5400(280 - 150)}{(100 - 94)1 \cdot 10^4} = 11,7,$$

6. Высота слоя осадка, м,

$$h_s = \frac{q_{mud} 24 \cdot T}{n_{set} L_{set} B_{set}} = \frac{11,7 \cdot 24 \cdot 2}{6 \cdot 36 \cdot 9} = 0,29 < (0,3 \dots 0,5),$$

где T – период между чистками, принимаем 2 сут.

Проверка.

1. По времени пребывания в отстойнике, ч,

$$t = \frac{W_{set}}{q_w} = \frac{n_{set} L_{set} B_{set} H_{set}}{q_w} = \frac{6 \cdot 36 \cdot 9 \cdot 4,4}{5400} = 1,58.$$

2. По фактической скорости, мм/с,

$$V_f = \frac{q_w}{3,6 n_{set} B_{set} H_{set}} = \frac{5400}{3,6 \cdot 6 \cdot 9 \cdot 4,4} = 6,3.$$

2.4.2. Радиальные отстойники

Радиальный отстойник представляет собой круглый в плане резервуар и является разновидностью горизонтального отстойника.

Сточная вода подается в центр отстойника снизу вверх и движется радиально от центра отстойника к периферии, изменяя скорость от максимальной в центре отстойника до минимальной на периферии.

Глубина проточной части отстойника $H_{set} = 1,5...5$ м. Высота нейтрального слоя $h = 0,3$ м, диаметр отстойника D_{set} не менее 18 м.

Производительность одного отстойника, м³/ч,

$$q_{set} = 2,8 k_{set} (D_{set}^2 - d^2) U_0,$$

где k_{set} – для радиального равен 0,45;

D_{set} - диаметр отстойника, м;

d - диаметр впускного устройства, м;

U_0 – гидравлическая крупность.

После подбора типового отстойника проверяется фактическая скорость сточной воды:

$$V_f = \frac{q_w}{3,6 n_{set} \pi \cdot (R/2) \cdot H_{set}} \approx 5...10 \text{ мм/с},$$

где n_{set} - число отстойников;

R - радиус отстойника, м;

H_{set} - глубина проточной части отстойника, м.

Основные данные по типовым радиальным первичным отстойникам приведены в табл. 2.7.

Таблица 2.7

Характеристика типовых радиальных первичных отстойников

Диаметр отстойника D_{set} , м	Глубина проточной части H_{set} , м	Расчетный объем отстойной зоны, м ³	Расчетная пропускная способность, м ³ /ч	Объем зоны осадка, м ³
-------------------------------------	--	---	---	--------------------------------------

18	3,1	783	550	120
24	3,1	1400	930	210
30	3,1	2190	1460	340
40	3,05	4560	3054	710
50	4,7	9220	6150	920
54	5.7	10600	7000	1040

Пример 2.6. Рассчитать радиальный отстойник для $q_w = 7200 \text{ м}^3/\text{ч} = 2 \text{ м}^3/\text{с} = 2000 \text{ л/с}$, $C_{en} = 300 \text{ мг/л}$, $t = 18 \text{ }^\circ\text{C}$.

1. Требуемый эффект очистки, %,

$$\Theta = \frac{C_{en} - C_{ex}}{C_{en}} 100 = \frac{300 - 150}{300} 100 = 50 \%$$

Принимаем радиальный отстойник диаметром 30 м с высотой зоны отстаивания 3,1 м и объемом отстойной зоны 2190 м^3 .

2. Гидравлическая крупность частиц взвешенных веществ, мм/с,

$$U_0 = \frac{1000k_{set}H_{set}}{t_{set} \left(\frac{k_{set}H_{set}}{h_1} \right)^{n_2}} = \frac{1000 \cdot 0,45 \cdot 3,1}{640 \left(\frac{0,45 \cdot 3,1}{0,5} \right)^{0,25}} = 1,68.$$

3. Производительность одного отстойника, $\text{м}^3/\text{ч}$,

$$q_{set} = 2,8k_{set}(D_{set}^2 - d^2)U_0 = 2,8 \cdot 0,45(30^2 - 1^2)1,68 = 1903.$$

4. Число отстойников

$$2 \leq n_{set} \leq 8,$$

$$n_{set} = \frac{q_w}{q_{set}} = \frac{7200}{1903} = 3,8.$$

Принимаем число отстойников равным 4.

5. Количество осадка, задержанного в отстойниках, $\text{м}^3/\text{ч}$,

$$Q_{mud} = \frac{q_w(C_{en} - C_{ex})}{(100 - P_{mud})\gamma_{mud} 10^4} = \frac{7200(300 - 150)}{(100 - 95)1 \cdot 10^4} = 21,6.$$

6. Проверка.

6.1. По времени пребывания в отстойнике, ч,

$$t = \frac{W_{set}}{q_w} = \frac{n_{set}\pi(D_{set}^2 - d^2)H_{set}}{4q_w} = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot (30^2 - 1^2) \cdot 3,1}{4 \cdot 7200} = 1,21.$$

6.2. По фактической скорости, мм/с,

$$V_f = \frac{q_w}{3,6n_{set}\pi \cdot (R/2)H_{set}} = \frac{7200}{3,6 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 15/2 \cdot 3,1} = 6,85.$$

2.4.3. Вертикальные отстойники

Вертикальный отстойник представляет собой круглый в плане резервуар с коническим днищем. Сточная вода поступает по центральной трубе в нижнюю часть отстойника, меняет направление движения с нисходящего на восходящее и собирается в сборном кольцевом желобе. Расчетная высота зоны осаждения принимается от 2,7 до 3,8 м. Диаметр отстойника 4-9 м. Высота нейтрального

слоя 0,3 м. Скорость сточной воды в центральной трубе не более 30 мм/с, а в щели между нижней кромкой центральной трубы и поверхностью отражательного щита не более 20 мм/с. Для отстойников диаметром 4 и 6 м диаметр впускной трубы равен 1 м, диаметром 9 м – 1,2 м.

Производительность одного отстойника

$$q_{set} = 2,8k_{set} (D_{set}^2 - d^2)(U_0 - V),$$

где k_{set} – для вертикального равен 0,35;

D_{set} - диаметр отстойника, м;

d - диаметр впускного устройства, м;

U_0 – гидравлическая крупность.

Основные данные по типовым вертикальным первичным отстойникам из сборного железобетона приведены в табл.2.8.

Таблица 2.8

Характеристика типовых вертикальных первичных отстойников

Диаметр отстойника, м	Высота, м			Пропускная способность, л/с, при $T = 1,5$ ч
	общая	цилиндрической части	конической части	
4	5,9	4,1	1,8	8,6
6	6,9	4,1	2,8	19,3
9	9,3	4,2	6,1	43,5

Пример 2.7. Рассчитать вертикальный отстойник для $q_w = 800$ м³/ч, $C_{en} = 300$ мг/л, $t = 20$ °С.

1. Требуемый эффект очистки

$$\Xi = \frac{C_{en} - C_{ex}}{C_{en}} 100 = \frac{300 - 150}{300} 100 = 50 \%$$

2. Гидравлическая крупность частиц взвешенных веществ, мм/с,

$$U_0 = \frac{1000k_{set} H_{set}}{t_{set} \left(\frac{k_{set} H_{set}}{h_1} \right)^{n_2}} = \frac{1000 \cdot 0,35 \cdot 3,8}{640 \left(\frac{0,35 \cdot 3,8}{0,5} \right)^{0,22}} = 1,66.$$

3. Производительность одного отстойника, м³/ч,

$$q_{set} = 2,8k_{set} (D_{set}^2 - d^2)U_0 = 2,8 \cdot 0,35(9^2 - 1,2^2)1,66 = 129,4$$

4. Число отстойников, шт.,

$$2 \leq n_{set} \leq 8,$$

$$n_{set} = \frac{q_w}{q_{set}} = \frac{800}{129,4} = 6,2.$$

Принимаем шесть типовых вертикальных отстойников диаметром 9 м, высотой цилиндрической части 4,2 м и конической 5,1 м (табл. 2.8).

5. Количество осадка, задержанного в отстойниках, м³/ч,

$$Q_{mud} = \frac{Q_w (C_{en} - C_{ex})}{(100 - P_{mud}) \gamma_{mud} 10^4} = \frac{800(300 - 150)}{(100 - 95)1 \cdot 10^4} = 2,4$$

Проверка:

$$t = \frac{0,785_{\text{сет}} (D_{\text{сет}}^2 - d^2) H_{\text{сет}} n_{\text{сет}}}{q_w} = \frac{0,785(9^2 - 1,2^2) \cdot 3,8 \cdot 6}{800} = 1,8$$

2.5. Расчет сооружений, улучшающих процессы отстаивания

В обычных первичных отстойниках задерживается 30-50 % всех содержащихся в сточных водах нерастворенных примесей. Для интенсификации процесса отстаивания рекомендуется применять такие сооружения как преаэраторы, биокоагуляторы, осветлители. Преаэрация предусматривает предварительную аэрацию сточных вод без применения или с применением активного ила. Преаэраторы устраиваются перед первичными горизонтальными отстойниками в виде отдельных, пристроенных или встроенных сооружений. Биокоагуляторы и осветлители представляют собой первичные отстойники в виде сооружений, совмещенных с вертикальными отстойниками. Преаэраторы, биокоагуляторы и осветлители применяются на станциях очистки как с аэротенками, так и с биофильтрами.

2.5.1. Преаэраторы

Наиболее часто преаэраторы устраивают с горизонтальными отстойниками. Число секций отдельно стоящих преаэраторов принимаем не менее двух и обе секции рабочие. Продолжительность аэрации сточной воды составляет 20 мин. Количество подаваемого ила может быть 50-100 % избыточного, а биопленки - 100 %. Количество воздуха - 5 м³/м³ сточной воды.

Эффект очистки в отстойниках как по БПК₂₀, так и по взвешенным веществам за счет применения преаэраторов повышается на 20-25 %.

При подаче активного ила в преаэраторы допускается возможность регенерации ила. Объем регенератора составляет 0,25-0,3 общего объема преаэратора. Регенерация активного ила происходит 24 ч.

Глубина преаэратора принимается равной глубине проточной части отстойника.

Объем преаэраторов, м³,

$$W_p = (q_w + q_{a_i}) t_{a_i},$$

где q_{a_i} – объём подаваемого активного ила, м³/ч;

q_w - расчетный расход сточных вод, м³/ч;

t_{a_i} - период аэрации, ч.

Потребное количество воздуха, м³/ч,

$$Q_{air} = q_w J,$$

где J - удельный расход воздуха, м³/м³.

Пример 2.8. Рассчитать преаэратор для $q_w = 7200$ м³/ч, $C_{en} = 400$ мг/л, $L_{en} = 200$.

1. Требуемый эффект очистки в отстойнике, %,

$$\xi = \frac{C_{en} - C_{ex}}{C_{en}} 100 = \frac{400 - 150}{400} 100 = 62,5 \%$$

Применение преаэратора позволяет достигнуть данного эффекта очистки.

2. Кол-во образовавшегося активного ила, м³/ч,

$$q_{a_i} = \frac{0,8C_{cdp} + k_q L_{ln} - a_t}{(100 - P) \gamma_{a_i}} q_w = \frac{(0,8 \cdot 400 + 0,3 \cdot 200 - 12) \cdot 7200}{(100 - 99,3) \cdot 1 \cdot 10^4} = 378,5,$$

где q_{at} – см. п.7.8.

3. Объем камеры преаэрации, м³,

$$W_p = (q_w + q_{a_i}) t_{a_i} = (7200 + 378,5) \cdot \frac{20}{60} = 2526,2.$$

4. Площадь зеркала воды, м²:

$$F_p = W_p / H_p = 2526,2 / 3,1 = 14,9,$$

$$H_p = H_{set} = 3,1.$$

5. $B_p = B_{set} = 9$ м; $n_p = n_{set} = 8$.

6. Длина преаэратора, м,

$$L_p = \frac{F_p}{n_p B_p} = \frac{806,74}{8 \cdot 9} = 11,2.$$

7. Потребное кол-во воздуха, м³/ч,

$$Q_{air} = J(q_w + q_{a_i}) = 5(7200 + 378,5) = 37892,5.$$

2.5.2. Биокоагуляторы

На базе вертикальных отстойников проектируются биокоагуляторы.

Продолжительность аэрации с избыточным активным илом или биологической пленкой составляет 20 мин.

Количество подаваемого избыточного активного ила 50 или 100 %, биологической пленки – 100 % после 24 ч аэрации в регенераторе. Количество воздуха 5 м³/м³ сточной воды.

Скорость сточной воды в зоне отстаивания не более 0,5-0,85 мм/с.

Снижение концентрации загрязнения в биокоагуляторе: по взвешенным веществам на 70 %; по БПК₂₀ - на 30 %.

Объем камеры биокоагуляции, м³,

$$W_{bc} = (q_w - q_{bc}) t_{bc},$$

где q_{bc} – объем подаваемой биологической пленки, м³/ч;

q_w - расчетный расход сточных вод, м³/ч;

t_{bc} - период биокоагуляции, принимаем 0,33 ч.

Площадь зоны отстаивания, м²:

$$F_{set} = \frac{W_{e.c}}{q_{set}},$$

где q_{set} – гидравлическая нагрузка на зону отстаивания – не более 3 м³/м².

Пример 2.9. Определить размеры биокоагулятора, если известно: $q_w = 880 \text{ м}^3/\text{ч}$, $C_{en} = 400 \text{ мг/л}$, $N_{br.L} = 92830$.

1. Требуемый эффект очистки в отстойнике, %,

$$\Theta = \frac{C_{en} - C_{ex}}{C_{en}} 100 = \frac{400 - 150}{400} 100 = 62,5 \%$$

2. Количество образовавшейся биопленки, $\text{м}^3/\text{сут}$,

$$Q_{bp} = \frac{28N_{br.l} - a_t Q_w}{(100 - P_{bp}) \gamma_{bp} \cdot 10^4} = \frac{28 \cdot 92830 - 15 \cdot 21120}{(100 - 96) \cdot 1 \cdot 10^4} = 57,06,$$

где 28 - норма образования биопленки на одного приведённого жителя по БПК₂₀, г/чел·сут;

$N_{br.L}$ - приведенное число жителей по БПК₂₀;

a_t - вынос биопленки из вторичного отстойника с очищенной водой,

Q_w - максимальный суточный расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{сут}$;

P_{bp} - влажность биопленки, $P_{bp} = 96 \%$;

γ_{bp} - плотность биопленки, $\gamma_{bp} \approx 1 \text{ т/м}^3$.

$$q_{b.p.} = \frac{Q_{b.p.}}{24} = \frac{57,06}{24} = 2,4 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

3. Объём камер биокоагуляции, м^3 ,

$$W_{bc} = (q_w - q_{bc}) t_{bc} = (880 + 2,4) \cdot 0,33 = 291,2.$$

4. Площадь камер биокоагуляции, м^2 ,

$$F_{c.с} = \frac{W_{oc}}{H_{set}} = \frac{291,2}{3,8} = 76,6,$$

где H_{set} - рабочая глубина отстойной части вертикального отстойника, $H_{set} = 3,8$ ([1], табл. 31).

5. Площадь зоны отстаивания, м^2 ,

$$F_{set} = \frac{(q_w + v_{с.п.})}{q_{set}} = \frac{(880 + 2,4)}{3} = 294,1.$$

6. Общая площадь биокоагуляторов, м^2 ,

$$F_{gen} = F_{c.с} + F_{set} = 76,6 + 294,1 = 370,7.$$

7. Расчётный диаметр одного биокоагулятора, м,

$$2 \leq n_{bc} \leq 8,$$

$$D_{bc} = \sqrt{\frac{4F_{gen}}{\pi n_{bc}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 370,7}{3,14 \cdot 6}} = \sqrt{78,7} = 8,7.$$

Принимаем восемь типовых биокоагуляторов $D = 9 \text{ м}$.

8. Количество осадка, $\text{м}^3/\text{сут}$,

$$Q_{mud} = \frac{Q_w(C_{en} - C_{ex})}{(100 - P_{mud}) \gamma_{mud} 10^4} + Q_{bp} = \frac{21120(400 - 150)}{(100 - 95) \cdot 1 \cdot 10^4} + 57,06 = 105,6.$$

9. Количество подаваемого воздуха, м³/ч,

$$Q_{air} = J(q_w + q_{bp}) = 5(880 + 2,4) = 4412,5,$$

где $J = 5 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Глава 3. РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ ПО УПЛОТНЕНИЮ ОСАДКА

3.1. Расчет илоуплотнителей

Илоуплотнители предназначены для повышения концентрации либо для активного ила, либо для аэробно-стабилизированных осадков. Для этой цели допускается применение илоуплотнителей гравитационного типа (вторичные отстойники, осветлители со взвешенным слоем осадка, флотационные установки, мембранные модули и др.). Для интенсификации работ сооружений гравитационного илоотделения допускается применение тонкослойных модулей [1, п. 9.2.9.1].

Число илоуплотнителей принимается не менее двух, причем оба рабочие.

3.1.1. Радиальные уплотнители для активного ила

Согласно СП [1] при проектировании радиальных илоуплотнителей (рис.3.1) следует принимать:

- выпуск уплотненного осадка под гидростатическим напором не менее 1 м;
- илососы или илоскребы для удаления осадка;
- подачу иловой воды из уплотнителей в аэротенки самотеком.

Расчет илоуплотнителей сводится к определению рабочего объема W :

$$W = q_i t,$$

где q_i - расход активного ила, м³/ч;

t - продолжительного уплотнения, ч, принимается по табл.3.1.

По рабочему объему W выбирается типовой илоуплотнитель. Характеристика илоуплотнителей приведена в табл. 3.2.

В качестве радиальных илоуплотнителей используются вторичные радиальные отстойники.

Пример 3.1. Рассчитать илоуплотнитель радиального типа для станции с аэротенками на полную биологическую очистку производительностью $Q_w = 75000 \text{ м}^3/\text{сут}$. БПК₂₀ сточной жидкости $L_{en} = 250 \text{ мг/л}$, концентрация избыточного активного ила $a_i = 4 \text{ г/л}$, начальная влажность ила $P = 99,3 \%$.

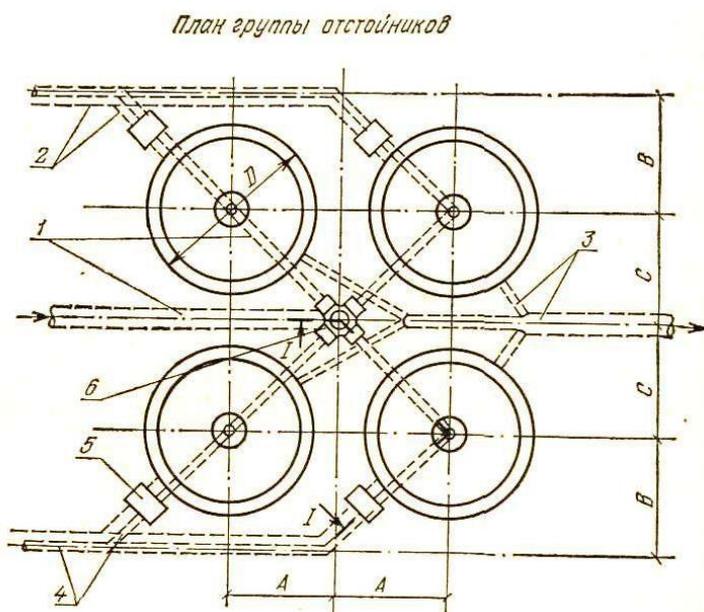
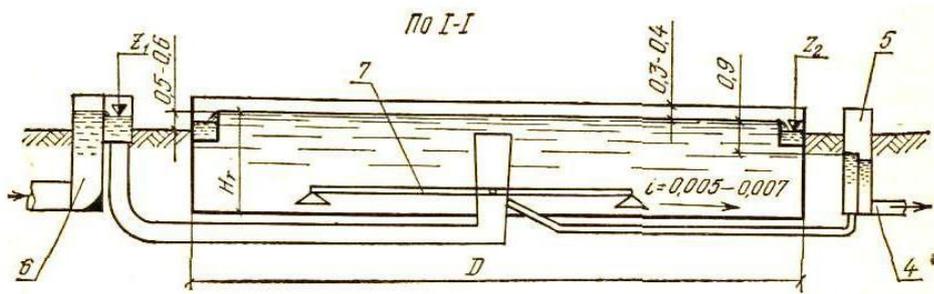


Рис.3.1. Схема радиального илоуплотнителя:

- 1 - подводящий трубопровод;
- 2 - трубопровод опорожнения;
- 3 - отводящий трубопровод;
- 4 - трубопровод выпуска ила;
- 5 - иловая камера;
- 6 - распределительная чаша;
- 7 - илососы

Таблица 3.1

Параметры уплотнения избыточного активного ила в радиальном уплотнителе

Характеристика избыточного активного ила	Влажность активного ила, %	Продолжительность уплотнения, ч

Иловая смесь из аэротенков с концентрацией 1,5-3 г/л	97,3	5 - 8
Активный ил из вторичных отстойников с концентрацией 4 г/л	97,3	9 - 11
Активный ил из зоны отстаивания аэротенков-отстойников с концентрацией 4,5 – 6,5 г/л	97	12 - 15

Таблица 3.2

Характеристика типовых радиальных илоуплотнителей.

Диаметр D, м	Объем W, м ³		Глубина H, м		Типовой проект
	зоны отстаивания	иловой зоны	гидравлическая	зоны отстаивания	
18	788	160	3,7	3,1	902-2- $\frac{87}{76}$
24	1400	280	3,7	3,1	902-2- $\frac{88}{75}$
30	2190	440	3,7	3,1	902-2- $\frac{89}{75}$
40	4580	915	4,35	3,65	902-2- $\frac{90}{75}$
50	9220	-	-	4,7	-
54	10500	-	-	5,7	-

1. Прирост активного ила

$$P_i = 0,8C_{cdp} + k_g L_{en},$$

где C_{cdp} – концентрация взвешенных веществ в сточной воде, поступающей в аэротенк, $C_{cdp} = 150$ мг/л;

k_g – коэффициент прироста, $k_g = 0,3$;

L_{en} – БПК₂₀ поступающей воды,

т.е. $P_i = 0,8 \cdot 150 + 0,3 \cdot 250 = 195$ мг/л.

2. Максимальное количество ила с учетом коэффициента неравномерности

$$J_{max} = 1,5P_i = 1,5 \cdot 195 = 292,5 \text{ мг/л.}$$

3. Расход активного ила

$$q_i = \frac{J_{max} Q_w}{24a_i 1000} = \frac{292,5 \cdot 75000}{24 \cdot 4000} = 225,4 \text{ м}^3 / \text{ч.}$$

4. Объем уплотнителя

$$W = q_i t = 225,4 \cdot 10 = 2254 \text{ м}^3,$$

где $t = 9 \dots 11$ ч согласно табл. 3.1.

$$W^1 = \frac{W}{n_d};$$

$$2 \leq n_d < 8.$$

Но значению W^1 принимается типовой уплотнитель диаметром $D = 18$ м, площадью дна $F = 250 \text{ м}^2$, высотой проточной части $h = 3$ м. В этом случае отношение $D/h = 18/3 = 6$ соответствует требованиям [1].

5. Количество уплотненного ила, $\text{м}^3/\text{ч}$:

$$q_{id} = q_i \frac{100 - P_{en}}{100 - P_{ex}} = 225,4 \frac{100 - 99,3}{100 - 97,3} = 58,6,$$

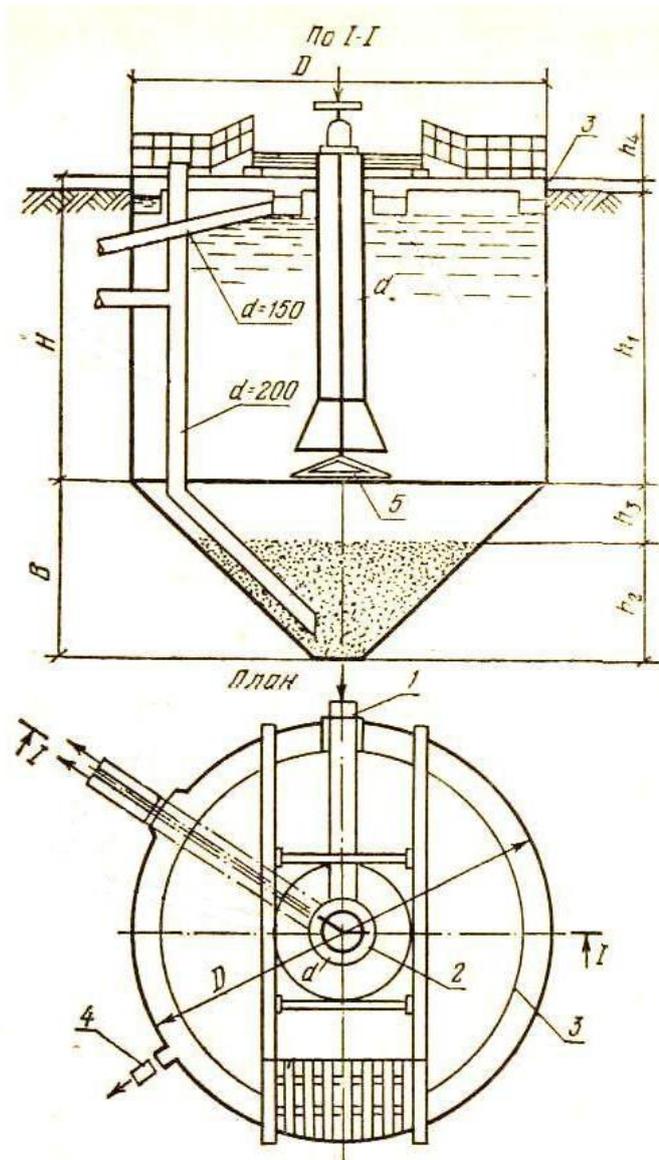
где P_{en} - влажность избыточного ила из вторичных отстойников, $P_{en} = 99,3 \%$;

P_{ex} - влажности уплотненного осадка, принимается $P_{ex} = 97,3 \%$.

6. Количество осветленной жидкости, получающейся в процессе уплотнения, $\text{м}^3/\text{ч}$,

$$q_l = q_i \frac{P_{en} - P_{ex}}{100 - P_{ex}} = 225,4 \frac{99,3 - 97,3}{100 - 97,3} = 166,8.$$

Осветленная жидкость из уплотнителей подается в азротенки.



3.1.2. Вертикальные уплотнители для активного ила

При проектировании вертикальных илоуплотнителей (рис.3.2) следует принимать:

- диаметр не более 9 м;
- угол наклона дна 50° ;
- давление ила непрерывное под гидростатическим напором не менее 1,0 м.

Рис.3.2. Схема вертикального илоуплотнителя:

- 1 - подача сточной жидкости;
- 2 - центральная труба;
- 3 - лоток для осветленной воды;
- 4 - отвод осветленной воды;
- 5 - отражательный щит.

Вертикальный илоуплотнитель для активного ила после полной биологической очистки применять не рекомендуется.

Расчет вертикального илоуплотнителя сводится к определению полезной площади поперечного сечения илоуплотнителя F_u и площади поперечного сечения центральной трубы $f_{c.t.}$:

$$F_u = \frac{q_l}{3,6V}; f_{c.t.} = \frac{q_i}{3600V_{c.t.}}$$

где q_l – количество осветленной жидкости, $m^3 / ч$;

V – скорость воды в отстойной зоне илоуплотнителя, $V = 0.1$ мм/с;

$V_{c.t.}$ – скорость движения стоков в центральной трубе, принимаемая по нормам не более 0,1 м/с.

По общей площади $F_u + f_{c.t.}$ определяется диаметр уплотнителя:

$$D = \frac{4(F_u + f_{c.t.})}{\pi n} \leq 9m;$$

где n – количество уплотнителей, $n \geq 2$.

Расчет производится на основании параметров илоуплотнителя (табл.3.3).

Таблица 3.3

Параметры избыточного активного ила в вертикальном илоуплотнителе

Характеристика избыточного активного ила	Влажность уплотненного активного ила, %	Продолжительность уплотнения, ч	Скорость движения жидкости, мм/с
Активный ил из вторичных отстойников с концентрацией 4 г/л	98	10-12	0,1

Активный ил из зоны отстаивания аэротенков-отстойников с концентрацией 4,5-6,5 г/л	98	16	0,1
--	----	----	-----

В качестве илоуплотнителей принимаются первичные вертикальные отстойники, основные размеры которых приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Характеристика первичных вертикальных отстойников

Типовой проект	Диаметр, м		Высота, м		Расчетная глубина проточной части, м
	отстойника	центральной трубы	цилиндрической части	конической части	
902-2-19	4	0,7	4,1	1,8	3,8
902-2-165	6	1,0	4,2	3,3	3,8
902-2-166	9	1,4	4,2	5,1	3,8
Типовой проект	Площадь, м ²			Объем, м ³	
	общая	центральной трубы	полезная	цилиндрической части	конической части
902-2-19	12,55	0,38	12,11	51,50	8,35
902-2-165	28,30	0,78	27,50	119,00	32,00
902-2-166	63,60	1,55	62,05	263,00	71,30

Пример 3.2. Рассчитать вертикальный илоуплотнитель для избыточного активного ила, установленный после аэротенков на неполную биологическую очистку для станции очистки производительностью $Q_w = 25000 \text{ м}^3/\text{сут.}$ БПК₂₀ сточной воды $L_{en} = 200 \text{ мг/л}$, концентрация избыточного активного ила $a_i = 4 \text{ г/л}$.

1. Прирост активного ила, мг/л,

$$P_i = 0,8C_{cdp} + k_g L_{en} = 0,8 \cdot 150 + 0,3 \cdot 200 = 180.$$

2. Максимальное количество ила с учетом коэффициента неравномерности $k = 1,8, \text{ г/м}^3$,

$$J_{max} = 1,8P_i = 1,8 \cdot 180 = 324.$$

3. Расход активного ила, м³/ч,

$$q_i = \frac{J_{max} Q_u}{24a_i 1000} = \frac{324 \cdot 25000}{24 \cdot 4 \cdot 1000} = 84,37.$$

4. Количество уплотненного ила, м³/ч,

$$q_{id} = q_i \frac{100 - P_{en}}{100 - P_{ex}} = 84,37 \frac{100 - 99,3}{100 - 98} = 29,5,$$

где P_{ex} - влажность уплотнённого осадка, согласно СНиП [1, табл. 57] $P_{ex} = 98 \%$.

5. Количество осветленной жидкости, м³/ч:

$$q_l = q_i \frac{P_{en} - P_{ex}}{100 - P_{ex}} = 84,37 \frac{99,3 - 98}{100 - 98} = 54,8.$$

6. Полезная площадь поперечного сечения илоуплотнителя, м²,

$$F_u = \frac{q_l}{3,6V} = \frac{54,8}{3,6 \cdot 0,1} = 152,2.$$

7. Площадь поперечного сечения центральной трубы, м²,

$$f_{c.t.} = \frac{q_i}{3600V_{c.t.}} = \frac{54,8}{3600 \cdot 0,1} = 0,152.$$

8. Общая площадь илоуплотнителя, м²,

$$f_{gen} = F_u + f_{c.t.} = 152,2 + 0,152 = 152,35.$$

9. Диаметр уплотнителя при общем количестве их $n = 3$

$$D = \sqrt{\frac{4F_{gen}}{\pi n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 152,35}{3,14 \cdot 3}} = \sqrt{64,69} = 8,04.$$

10. Диаметр центральной трубы, м,

$$d_{c.t.} = 1,128 \sqrt{\frac{f_{c.t.}}{n}} = 1,128 \sqrt{\frac{0,152}{3}} = 0,25.$$

11. Высота проточной части илоуплотнителя, м,

$$h_p = 3,6vt = 3,6 \times 0,1 \times 11 = 3,96,$$

где $t = 11$ ч (см.табл. 3.3).

12. Высота и объем конусной части илоуплотнителя соответственно, м,

$$h_c = (R - r)tg 50 = (4,5 - 0,2) \times 1,1918 = 5,12,$$

где R и r – радиус илоуплотнителя и радиус нижнего основания конуса, м³;

$$W_c = \frac{\pi h_c}{4n} (D^2 + Dd + d^2) = \frac{3,14 \times 5,12}{4 \times 3} \times (9^2 + 9 \times 0,4 + 0,4^2) = 113,85.$$

13. Высота стояния ила в конусе, м,

$$h_i = h_c \sqrt{\frac{W_i}{W_c}} = 5,12 \sqrt{\frac{78,6}{113,85}} = 4,24,$$

где W_i – количество уплотненного ила в одном илоуплотнителе при удалении через 8 ч, м³;

$$W_i = \frac{8 \times 29,5}{3} = 78,6.$$

14. Общая высота илоуплотнителя, м:

$$H = h_g + h_p + h + h_n + h_i = 0,3 + 3,96 + 0,5 + 0,3 + 4,24 = 9,2,$$

где h_g – высота строительных бортов, $h_g = 0,3$ м;

h_p – высота проточной части;

h – расстояние между отражательным щитом и низом центральной трубы, $h = 0,5$ м;

h_n – высота нейтрального слоя, $h_n = 0,3 \dots 0,5$ м;

h_i – высота ила.

Принимаем $H = 9,0$ м.

3.1.3. Уплотнители для аэробно-стабилизированных осадков

Согласно СП уплотнение аэробно-стабилизированного осадка следует предусматривать или в отдельно стоящих илоуплотнителях, или в специально выделенной зоне внутри стабилизатора в течение не более 5 ч.

Пример 3.3. Рассчитать уплотнитель для аэробно-стабилизированных осадков при $Q_{mud} = 8 \text{ м}^3/\text{ч}$, $Q_i = 37,5 \text{ м}^3/\text{ч}$.

1. Объем уплотнителя, м^3 ,

$$W = (Q_{mud} + Q_i)t = (8 + 37,5) \cdot 5 = 227,6.$$

2. Число уплотнителей, если принять в качестве илоуплотнителей первичные вертикальные отстойники диаметром 6 м и объемом цилиндрической части 119 м^3 :

$$2 \leq n \leq 8;$$

$$n = \frac{W}{W_1} = \frac{227,6}{119} \approx 2,$$

где W_1 – объем типового уплотнителя, м^3 (см.табл. 3.4).

3. Количество уплотненного ила, $\text{м}^3/\text{ч}$,

$$q_{id} = (Q_{mud} + Q_i) \times \frac{100 - P_{en}}{100 - P_{ex}} = 45,5 \times \frac{100 - 98,5}{100 - 97,5} = 27,3,$$

где P_{en} – влажность стабилизированного осадка, %,

$$P_{en} = \frac{Q_{mud}P_{mud} + Q_iP}{Q_{mud} + Q_i} = \frac{8 \times 95 + 37,5 \times 99,3}{8 + 37,5} = 98,5;$$

P_{ex} – влажность уплотненного осадка,

$P_{ex} = 96,5 \dots 98,5 \%$.

4. Количество иловой воды, $\text{м}^3/\text{ч}$,

$$q_l = (Q_{mud} + Q_i) \frac{P_{en} - P_{ex}}{100 - P_{ex}} = (8 + 37,5) \times \frac{98,5 - 97,5}{100 - 97,5} = 18,2.$$

Иловая вода из уплотнителей направляется в аэротенки. Её загрязнения составляют: по БПК₂₀ - 200 мг/л, по взвешенным веществам - до 100 мг/л.

Глава 4. РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ ПО СБРАЖИВАНИЮ ОСАДКА

Сбраживание осадка или его минерализация протекает под действием микроорганизмов.

В зависимости от вида используемых микроорганизмов для сбраживания осадка сооружения классифицируются на анаэробные и аэробные. К анаэробным сооружениям относятся: септики, двухъярусные отстойники, осветлители-

перегниватели, метантенки. К аэробным сооружениям по сбраживанию осадка принадлежат аэробные и контактные стабилизаторы.

Выбор того или иного сооружения зависит от пропускной способности Q_w очистной станции. Согласно данным [8,10] технико-экономическая целесообразность использования этих сооружений в зависимости от Q_w следующая:

- $Q_w < 10 \text{ м}^3/\text{сут}$ – септики;
- $Q_w < 10000 \text{ м}^3/\text{сут}$ – двухъярусные отстойники;
- $Q_w < 30000 \text{ м}^3/\text{сут}$ – осветлители-перегниватели;
- $Q_w < 50000 \text{ м}^3/\text{сут}$ – аэробные стабилизаторы;
- $Q_w > 50000 \text{ м}^3/\text{сут}$ – метантенки.

4.1. Анаэробные сооружения

Обработка осадка заключается в разложении (сбраживании) его органической части с помощью анаэробных, т.е. живущих без кислорода, микроорганизмов. Процесс разложения протекает в две фазы. В первой фазе органические вещества (белки, жиры, углеводы) распадаются до кислот жирного ряда. Во второй фазе кислоты жирного ряда расщепляются с образованием метана, углекислоты и сероводорода.

4.1.1. Септики

Септики применяются для механической очистки сточных вод, поступающих на поля подземной фильтрации, песчано-гравийные фильтры. В зависимости от расхода сточных вод принимаются следующие типы септиков:

- однокамерные при расходе менее $1 \text{ м}^3/\text{сут}$;
- двухкамерные при расходе до $10 \text{ м}^3/\text{сут}$;
- трехкамерные при расходе более $10 \text{ м}^3/\text{сут}$.

Пример 4.1. Рассчитать септик для производительности $Q_w = 15 \text{ м}^3/\text{сут}$ при числе жителей $N = 120$ чел.

1. Полный расчетный объем септика, м^3 ,

$$W_s = kQ_w = 2,5 \times 15 = 37,5,$$

где k – кратность суточного притока, при расходе

$$Q_w > 5 \text{ м}^3/\text{сут}, k \geq 2,5.$$

2. Объем иловой части септика

$$W_i = \frac{aNT(100 - P_{mud})k_1k_2}{1000(100 - P_{mid})} = \frac{0,7 \times 120 \times 365(100 - 95) \times 0,7 \times 1,2}{1000(100 - 90)} = 12,9 \text{ м}^3,$$

где a – норма осадка на 1 чел, $a = 0,7 \text{ л}/\text{сут}$;

T – продолжительность хранения осадка в септике, сут, $T=365$ сут;

P_{mud} – влажность сырого осадка, $P_{mud} = 95 \%$;

P_{mid} – средняя расчетная влажность осадка, $P_{mid} = 90 \%$;

k_1 – коэффициент, учитывающий 30 %-ный распад осадка, $k_1 = 0,7$;

k_2 – коэффициент, учитывающий, что 20 % осадка оставляется в септике для инфицирования свежих порций осадка, $k_2 = 1,2$.

3. Число камер принимаем равным трем, $n_c = 3$.

4. Объем камер определяем согласно:

- объем первой камеры $W_1 = 0,5$, $W_i = 0,5 \cdot 12,9 = 6,45 \text{ м}^3$;

- объем второй камеры $W_2 = 0,25$, $W_i = 0,25 \cdot 12,9 = 3,22 \text{ м}^3$;

- объем третьей камеры $W_3 = 0,25$, $W_i = 0,25 \cdot 12,9 = 3,22 \text{ м}^3$.

В септиках, выполненных из бетонных колец, все камеры следует принимать равного объема.

4.1.2. Двухъярусные отстойники

Двухъярусные отстойники (рис. 4.1) служат для осветления сточной жидкости и сбраживания выпавшего осадка. В верхней части отстойника имеются проточные желоба, а в нижней – септическая камера. Сточная жидкость поступает в проточные желоба, которые работают как горизонтальные отстойники. Осаждающиеся частицы через щели попадают в септическую камеру. Сброженный осадок удаляется по иловой трубе под гидростатическим напором.

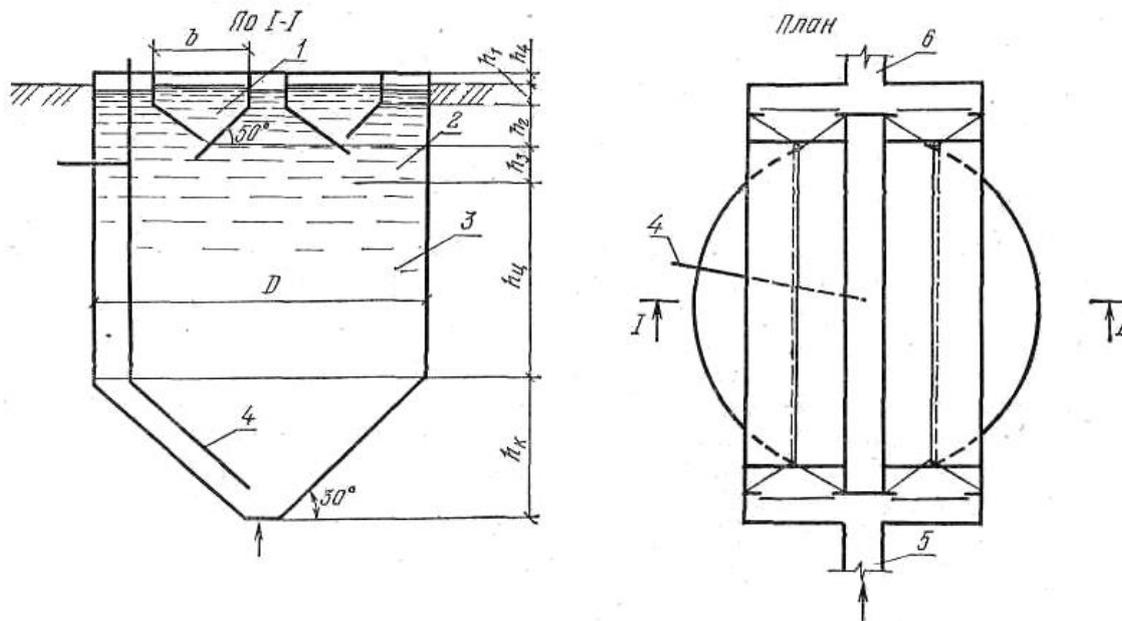


Рис. 4.1. Схема двухъярусного отстойника:

- 1 – лотки для осветления сточных вод; 2 – нейтральный слой; 3 – септическая камера; 4 – иловая труба; 5 - подающий лоток (распределительный лоток);
6 – отводящий лоток осветленной воды

Расчет двухъярусного отстойника состоит в определении размеров проточных желобов и септической камеры.

Пример 4.2. Рассчитать двухъярусный отстойник на максимальную суточную производительность $Q_w = 9\,000 \text{ м}^3/\text{сут}$. Приведенное число жителей по БПК₂₀ $N_{brL} = 20\,000$ чел. Средняя зимняя температура сточных вод составляет $12 \text{ }^\circ\text{C}$.

1. Необходимая площадь живого сечения желоба, m^2 ,

$$\omega = \frac{Q_w}{86400v} = \frac{9000}{86400 \times 0,002} = 52,$$

где v – скорость сточных вод в желобе, $v \leq 2$ мм/с.

2. Полезный объем всех желобов, m^3 ,

$$W = \frac{Q_w}{24} T = \frac{9000}{24} 1,5 = 561,6;$$

$$T = 1,5.$$

По полезному объему всех желобов выбирается типовой отстойник (табл.4.1).

Принимаем отстойники диаметром $D = 12$ м (типовой проект 902-2-70); ширина желоба $b = 2,5$ м, длина желоба соответствует диаметру, т.е. $l = 12$ м, высота треугольной части желоба $h_{tr} = 1,5$ м, высота прямоугольной части $h_{pr} = 1,3$ м.

3. Площадь живого сечения одного осадочного желоба

$$\omega_1 = bh_{pr} + \frac{bh_{tr}}{2} = 2,5 \times 1,3 + \frac{2,5 \times 1,5}{2} = 5,12 \text{ м}^2.$$

4. Необходимое число отстойников

$$N = \frac{\omega}{\omega_1 n} = \frac{52}{5,12 \times 2} \approx 5,0,$$

где n – число желобов в отстойнике, $n = 2$,

$$\text{т.е. } N = \frac{W}{Dn\omega_1} = \frac{561,6}{12 \times 2 \times 5,12} \approx 5,0.$$

Таблица 4.1

Характеристика двухъярусных отстойников

Номер типового проекта	Диаметр отстойника D , м	Общая высота H , м	Ширина желоба b , м	Высота		
				треугольной части желоба h_{tr} , м	прямоугольной части желоба h_{pr} , м	конической части септика h_{con} , м
902-2-73	6	7,6	1,8	1,1	0,7	1,6
902-2-72	9	8,5	2,5	1,3	1,0	2,5
902-2-70	12	9,4	2,5	1,5	1,3	3,4

Принимаем к установке пять двухъярусных отстойников с размерами: $D = 12$ м; $H = 9,4$ м; типовой проект 902-2-70.

5. Гидравлическая крупность частиц, задерживаемых в отстойнике, мм/с;

$$U_0 = \frac{H}{3,6T} = \frac{9,4}{3,6 \times 1,5} = 0,18.$$

6. Общий объем иловых камер, m^3 ,

$$W_{генс} = \frac{kW_s N}{1000} = \frac{1,3 \times 50 \times 20000}{1000} = 1300,$$

где k – коэффициент изменения объема септической камеры. Если в септическую камеру двухъярусных отстойников подается ил из аэротенков на полную очистку или биопленка от высоконагружаемых биофильтров, то объем ее увеличивается на 70 %, $k = 1,7$ при подаче в септическую камеру ила из отстойников на неполную очистку объем ее увеличивается на 30 %; $k = 1,3$ при подаче осветленной сточной воды из отстойников на поля фильтрации объем септической камеры допускается уменьшать не более чем на 20 %; W_s – объем септической камеры двухъярусных отстойников на одного человека в год, л; зависит от средней зимней температуры сточной воды:

средняя зимняя температура							
сточных вод, °С.....	6	7	8,5	10	12	15	20
объем септической камеры на одного человека							
в год, л.....	110	95	80	65	50	30	15
N_{brL} – приведенное число жителей по БПК ₂₀ .							

7. Объем септической камеры одного двухъярусного отстойника, м³,

$$W_L = \frac{W_{geni}}{N} = \frac{1300}{5} = 260.$$

Септическая камера занимает коническую и частично цилиндрическую части двухъярусного отстойника. Днище септической камеры представляет собой опрокинутый усеченный конус с углом наклона образующей к горизонту, равным 30°. Тогда $W_i = W_{con} + W_{cil}$.

8. Объем конической части септической камеры, м³,

$$W_{con} = \frac{1}{3} h_{con} \frac{\pi D^2}{4} = \frac{1}{3} \times 3,4 \frac{3,14 \times 12^2}{4} = 128,1.$$

9. Объем цилиндрической части септической камеры, м³,

$$W_{cil} = W_i - W_{con} = 260 - 128,1 = 131,9.$$

10. Высота цилиндрической части септической камеры, м,

$$h_{cil} = \frac{4W_{cil}}{\pi D^2} = \frac{4 \times 131,9}{3,14 \times 12^2} = 1,1.$$

11. Необходимая строительная высота двухъярусного отстойника, м,

$$H = h_g + h + h_n + h_{cil} + h_{con} = 0,3 + 2,8 + 0,5 + 1,1 + 3,4 = 8,1,$$

где h_g – высота борта отстойника над уровнем жидкости, $h_g = 0,3$ м;

h – глубина осадочного желоба, м;

h_n – высота нейтрального слоя, $h_n = 0,5$ м.

4.13. Осветлители – перегниватели

Для осветления сточной жидкости и сбраживания выпавшего осадка служат осветлители-перегниватели (рис.4.2).

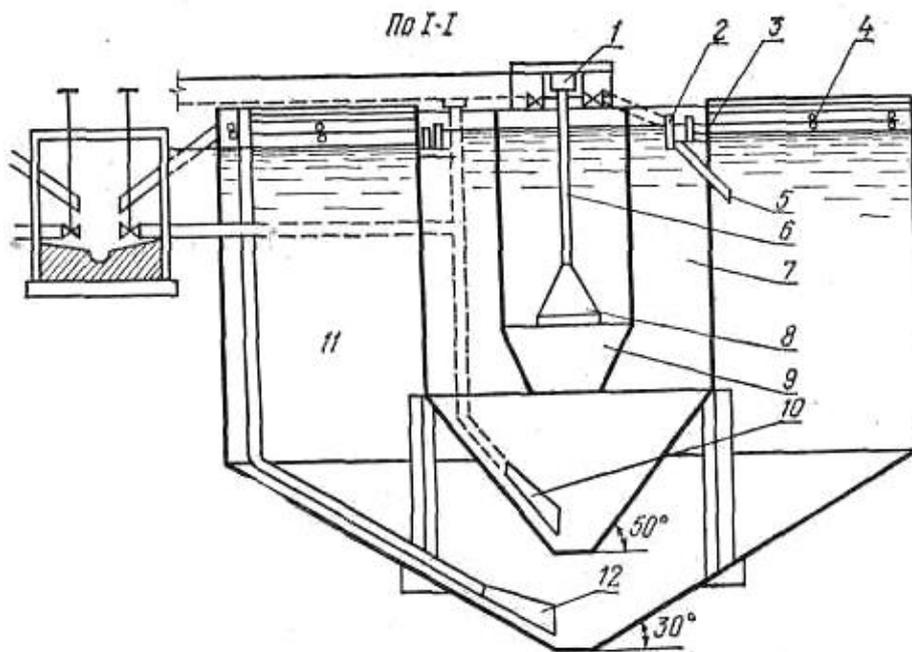


Рис.4.2. Схема осветлителя-перегнивателя:

1 – подающий лоток; 2 – лоток для удаления корки; 3 – сборный лоток; 4 – илораспределительная труба; 5 – труба для удаления корки; 6 – подающая труба; 7 – отстойная камера; 8 – отражательный щит; 9 – камера флокуляции; 10 – иловая труба; 11 – камера для сбраживания осадка; 12 – труба для сброженного осадка; 13 – лоток для осветленной воды

Он состоит из осветлителя с естественной аэрацией и концентрически расположенного вокруг него перегнивателя. Сточная вода по лотку направляется в центральную трубу с отражательным щитом. Разность уровней воды в лотке и в осветлителе (0,6 м) обеспечивает движение жидкости в центральной трубе со скоростью 0,5-0,7 м/с, что способствует засасыванию воздуха из атмосферы. Водовоздушная смесь попадает в камеру флокуляции, в которой находится примерно 20 мин, а затем поступает в отстойную зону, где поддерживается слой взвешенного осадка путем подачи определенной скорости движения жидкости. Осветленная жидкость собирается лотком и отводится по трубе. Осадок по трубе направляется в приемный резервуар насосной станции, а оттуда перекачивается в перегниватель по трубе с распределительными устройствами. Для перемешивания осадка его забирают насосом из перегнивателя по трубе в приемный резервуар насосной станции и затем снова по трубе направляют в перегниватель.

Расчет сводится к определению диаметров осветлителя и перегнивателя, по которым подбирается ближайший больший типовой размер.

Пример 4.3. Рассчитать осветлитель-перегниватель на максимальную суточную производительность $Q_w = 27600 \text{ м}^3/\text{сут}$. Среднесуточный расход $23000 \text{ м}^3/\text{сут}$. Приведенное число жителей по БПК₂₀ 120000 чел. Средняя зимняя температура сточной воды – 12 °С. Количество взвешенных веществ в сточной воде 175 мг/л.

1. Расчет осветлителя.

1.1. Площадь центральной трубы, m^2 ,

$$f_{c.t} = \frac{q_w}{v_{c.t}} = \frac{27600}{3600 \cdot 24 \cdot 0,6} = 0,53,$$

$$v_{c.t} = 0,5 \div 0,7 \text{ м/с.}$$

1.2. Объем камеры флокуляции, m^3 ,

$$w_f = q_w \frac{t}{60} = \frac{27600}{24} \cdot \frac{20}{60} = 383,3,$$

$$t = 20 \text{ мин.}$$

1.3. Площадь камеры флокуляции в плане, m^2 ,

$$F_f = \frac{w_f}{h_f} = \frac{383,3}{4,5} = 85,2,$$

$$h_f = 4 \div 5 \text{ м.}$$

1.4. Площадь отстойной части осветлителя, m^2 ,

$$F_0 = \frac{q_w}{v_0} = \frac{319,4}{1,2} = 266,2,$$

где Q_w – максимально секундный расход сточных вод, л/с;

v_0 – скорость в отстойной части осветлителя, мм/с.

1.5. Общая требуемая площадь, m^2 , осветлителей:

$$F_{set} = f_{c.t} + F_f + F_0 = 0,53 + 85,2 + 266,2 = 351,9.$$

1.6. При числе осветлителей $2 < n_{set} < 8$, площадь, m^2 , одного осветлителя составит:

$$F'_{set} = \frac{F_{set}}{n_{set}} = \frac{351,9}{6} = 58,65.$$

1.7. Требуемый диаметр, м, одного осветлителя:

$$D'_{set} = \sqrt{\frac{4F'_{set}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 58,65}{3,14}} = 8,64,$$

что соответствует рекомендациям СП [1]. $D \leq 9$ м.

1.8. Проверка работы осветлителей по скорости, мм/с:

$$v = \frac{g_n}{n_{set} F'_{set}} = \frac{319,4 \cdot 4}{6 \cdot 9^2 \cdot 3,14} = 0,84 \text{ - соответствует рекомендациям СП [1].}$$

2. Расчет перегнивателя.

2.1. Суточный расход сырого осадка, поступающего из осветлителей в септические камеры перегнивателей, $m^3/\text{сут}$:

$$Q_{mud} = \frac{C_{en} \cdot Q_w \cdot \mathcal{E} \cdot T}{(100 - P_{mud}) \cdot 10^6 \cdot \rho},$$

где Q_w – среднесуточный расход сточных вод, $m^3/\text{сут}$;

ρ – плотность осадка, $\rho = 1 \text{ т/м}^3$;

\mathcal{E} – эффект задержания взвешенных веществ, $\mathcal{E} = 60 \%$;

T – период накопления осадка, $T = 1 \text{ сут}$;

P_{mud} – влажность сырого осадка, $P_{mud} = 95 \%$;

$$Q_{mud} = \frac{175 \cdot 23000 \cdot 60 \cdot 1}{(100 - 95) \cdot 10^6 \cdot 1} = 48,3.$$

2.2. Суточный расход биопленки, поступающей из вторичных отстойников, м³/сут:

$$Q_{b.p} = \frac{(a \cdot N_{br.L} - a_i Q_w)}{(100 - P_{b.p}) \cdot \rho \cdot 10^4} = \frac{(28 \cdot 120000 - 15 \cdot 23000)}{(100 - 96) \cdot 1 \cdot 10^4} = 75,4$$

где a – количество биопленки, приходящейся на одного человека в сутки, $a = 28$ г/сут [1, п. 9.2.6.9];

$N_{br.L}$ – приведенное число жителей по БПК₂₀;

P – влажность биопленки вторичных отстойников, $P = 96 \%$ [1, п. 9.2.6.9];

a_i – вынос биопленки из вторичных отстойников; $a_i = 15$ мг/л при полной биологической очистке.

2.3. Суточный расход смеси, загружаемый в перегниватель, м³/сут:

$$Q_{mix} = Q_{mud} + Q_{b.p} = 48,3 + 75,4 = 123,7.$$

2.4. Влажность загружаемой смеси, %:

$$P_{mix} = \frac{Q_{mud} \cdot P_{mud} + Q_{b.p} \cdot P_{b.p}}{Q_{mix}} = \frac{48,3 \cdot 95 + 75,4 \cdot 96}{123,7} = 95,6.$$

Объем септических камер перегнивателей зависит от суточной дозы загрузки, значение которой приведено в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Доза загрузки в септическую камеру перегнивателя

Среднезимняя температура сточной воды, °С	6	7	8,5	10	12	15	20
Суточная доза загрузки, %	0,72	0,85	1,02	1,28	1,7	2,57	5

Приведенные данные получены при влажности $P_{mix} = 95 \%$. Если P_{mix} не равно 95 %, то табличное значение корректируется умножением на $\frac{5}{100 - P_{mix}}$.

В нашем примере

$$D = 1,7 \frac{5}{100 - 95,6} = 1,93.$$

2.5. Требуемый объем септических камер, м³:

$$w_s = \frac{Q_{mix} \cdot 100}{D} = \frac{123,7}{1,93} \cdot 100 = 6409.$$

2.6. При числе осветлителей $n_{set} = 6$, число септических камер составит также $n_s = 6$, тогда объем одной септической камеры, м³:

$$w_z' = \frac{w_z}{n_z} = \frac{6409}{6} = 1068$$

По диаметру осветлителя и объему септической камеры из табл. 4.3 принимаем размеры типовых осветлителей-перегнивателей.

Таблица 4.3

Размеры типовых осветлителей-перегнивателей

Тип	Перегниватель			Осветлитель			Пропускная способность осветлителя при $v = 0,9$ мм/с		Диаметр камеры флокуляции, м
	диаметр, м	высота, м	объем, м ³	диаметр, м	высота, м	объем, м ³			
1	8	8,61	333	4	7,16	65,3	9	295	1,7
2	12	9,48	637	5	7,75	103,1	13,6	445	2,3
3	15	10,35	1059	6	8,34	154,6	20	655	2,7

4.1.4. Метантенки

Метантенк представляет собой круглый или прямоугольный в плане резервуар, служащий для сбраживания сырого осадка из первичных отстойников и избыточного активного ила или избыточной биопленки из вторичных отстойников (рис.4.3).

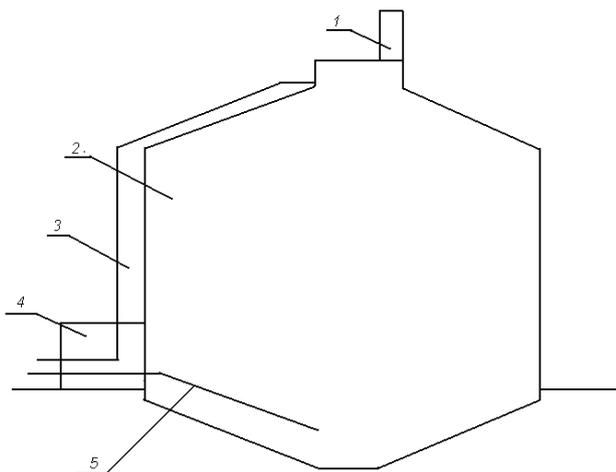


Рис.4.3. Схема метантенка:

- 1 – газовый колпак;
- 2 – резервуар метантенка;
- 3 – трубопровод загрузки осадка;
- 4 – инжекторная;
- 5 – трубопровод выгрузки осадка

Для интенсификации анаэробного процесса разложения осадок подогревается и перемешивается. Подогревать осадок можно острым паром, впускаемым в метантенк с помощью эжектора, или паром, вводимым во всасывающую трубу насоса. Перемешивают осадок мешалками, гидроэлеваторами и насосами, забирающими осадок из нижней части и подающими его в верхнюю часть метантенка.

Различают мезофильное и термофильное брожение. При мезофильном брожении в метантенке поддерживается температура +33 °С, при термофильном

+53 °С. Выбор режима сбраживания производится на основании технико-экономических расчетов и исходя из методов дальнейшей обработки осадка [1, п. 9.2.14.10].

Газ метан, выделившийся в метантенках в процессе разложения органики, собирают и сжигают в котельных установках. Пар, получаемых в котлах, служит для подогрева осадка в метантенках и отопления производственных помещений. Для сбора газа устраивают мокрые газгольдеры, объем которых рассчитывают на хранение 2-4-часового расхода газа.

Наиболее рациональной схемой эксплуатации метантенков является прямоточная схема, при которой загрузка и выгрузка осадка происходят одновременно и непрерывно. Осадок подается через дозирующую камеру в верхнюю зону метантенков и выгружается из конусной части днища.

Расчет метантенка сводится к определению:

1) требуемого объема сооружения, на основании которого подбираются типовые сооружения;

2) необходимого объема газгольдера для хранения газа.

Пример 4.4. Рассчитать метантенк для очистной станции со среднесуточным расходом сточных вод $Q_w = 75000 \text{ м}^3/\text{сут}$. Концентрация взвешенных веществ $C_{en} = 225 \text{ мг/л}$. Эффект отстаивания в первичных отстойниках $\mathcal{E} = 50 \%$. БПК₂₀ в сточных водах $L_{en} = 250 \text{ мг/л}$.

1. Расчет метантенка.

1.1. Расход осадка из первичных отстойников по сухому веществу с учетом выноса активного ила, т/сут,

$$Q_{mudd} = \frac{C_{en} \mathcal{E} k Q_w}{1000 \times 1000 \times 100} = \frac{225 \times 50 \times 1,15 \times 75000}{1000 \times 1000 \times 100} = 9,7,$$

где k – коэффициент, учитывающий увеличение объема осадка, $k = 1,1 \dots 1,2$.

1.2. Расход избыточного активного ила по сухому веществу, т/сут,

$$Q_{id} = \frac{(P_i - a_i) Q_w \cdot n}{10^6} = \frac{(195 - 12) \cdot 75000 \cdot 1,3}{10^6} = 17,8,$$

где P_i – прирост ила в аэротенках, мг/л:

$$P_i = 0,8 C_{cdp} + k_q L_{en} = 0,8 \times 150 + 0,3 \times 250 = 195;$$

n – коэффициент сезонной неравномерности активного ила, $n = 1,3$;

a_i – вынос ила из вторичных отстойников, принимаем по табл. 12.3 [9].

1.3. Расход сырого осадка с учетом влажности, м³/сут,

$$Q_{mud} = \frac{Q_{mudd} \times 100}{(100 - P_{mud}) \rho_{mud}} = \frac{9,7 \times 100}{(100 - 95) \times 1} = 194,$$

где P_{mud} – влажность осадка, $P_{mud} = 95 \%$;

ρ_{mud} – плотность осадка, $\rho_{mud} = 1 \text{ т/м}^3$.

1.4. Расход избыточного уплотненного активного ила, м³/сут,

$$Q_i = \frac{Q_{id} \times 100}{(100 - P) \rho_i} = \frac{17,8 \times 100}{(100 - 97,3) \times 1} = 659,2,$$

где P – влажность уплотненного избыточного активного ила, $P = 97,3 \%$;

ρ_i – плотность активного ила; $\rho_i = 1 \text{ т/м}^3$.

1.5. Общий расход смеси, загружаемой в метантенк, м³/сут,

$$Q_{mix} = Q_{mud} + Q_i = 194 + 659,2 = 853,2.$$

1.6. Средняя влажность смеси, %,

$$P_{mix} = 100\left(1 - \frac{Q_{mudd} + Q_{id}}{Q_{mix}}\right) = 100\left(1 - \frac{9,7 + 17,8}{853,2}\right) = 96,8.$$

7. Объем метантенка, м³,

$$W_{mt} = \frac{Q_{mix} \times 100}{D_{mt}} = \frac{853,2 \cdot 100}{9,8} = 8706,$$

где D_{mt} – суточная доза загрузки, принимаемая для мезофильного от режима сбраживания и влажности загружаемой смеси (табл. 4.4), %.

Таблица 4.4

Суточная доза загрузки в метантенк

Режим сбраживания	Суточная доза загрузки при влажности загружаемого осадка, %				
	93	94	95	96	97
Мезофильный	7	8	9	10	11
Термофильный	14	16	18	30	22

Таблица 4.5

Характеристика метантенков

Типовой проект	Диаметр D , м	Полезный объем W_{mt} , м ³
902-2-227	12,2	1000
902-2-228	15,0	1600
902-2-229	17,5	2500
902-2-230	20,0	4000

Руководствуясь положением, что число метантенков должно быть не менее двух, все метантенки – рабочие, принимаем типовой проект метантенка 902-2-230 диаметром $D = 20$ м с полезным объемом $W'_{mt} = 4000$. Число метантенков составит (табл. 4.5)

$$n_{mt} = \frac{8706}{4000} = 2,2.$$

2. Расчет газгольдера.

2.1. Количество беззольного в сухом веществе "сырого" осадка, т/сут,

$$Q_{mudr} = \frac{Q_{mudd}(100 - S_{mud})(100 - P_h)}{100 \cdot 100} = \frac{9,7(100 - 27)(100 - 5)}{100 \cdot 100} = 6,73$$

где S_{mud} – зольность осадка первичных отстойников, $S_{mud} = 25-27$ %;
 P_h – гидратная влажность; $P_h = 5...7$ %.

2.2. Количество беззольного вещества в уплотненном избыточном активном иле, т/сут,

$$Q_{ir} = \frac{Q_{id}(100 - S_i)(100 - P_h)}{100 \cdot 100} = \frac{17,8(100 - 26)(100 - 6)}{100 \cdot 100} = 12,4,$$

где S_i – зольность осадка вторичных отстойников, $S_i = 25...27$ %.

2.3. Зольность смеси, %,

$$S_{mix} = \frac{S_{mud} \cdot Q_{mudd} + S_{id} \cdot Q_{id}}{Q_{mudd} + Q_{id}} = \frac{27 \cdot 9,7 + 26 \cdot 17,8}{9,7 + 17,8} = 26,7.$$

2.4. Максимально возможный распад беззольного вещества в смеси осадков, поступающих в метантенк, %,

$$R_{lim} = \frac{53 \cdot Q_{mudr} + 44 Q_{ir}}{Q_{mudr} + Q_{ir}} = \frac{53 \cdot 6,73 + 44 \cdot 12,4}{6,73 + 12,4} = 47,2,$$

где 53 – максимальный распад для осадков из первичных отстойников, %;

44 – максимальный распад для избыточного активного ила, %.

2.5. Распад беззольного вещества загружаемого осадка R_r , %,

$$R_r = R_{lim} - k_r D_{mt} = 47,2 - 0,43 \cdot 9,8 = 43,$$

K_r – коэффициент, зависящий от влажности осадка, принимается по табл. 4.6

Таблица 4.6

Значения коэффициента k_r в зависимости от влажности осадка и режима сбраживания

Температура сбраживания, °С	Значение k_r при влажности загружаемого осадка, %				
	93	94	95	96	97
33	1,05	0,89	0,72	0,56	0,4
53	0,455	0,385	0,31	0,24	0,17

2.6. Удельное количество выделяющегося газа, м³/м³,

$$g_g = \frac{R_r(100 - P_{mix})(100 - S_{mix})}{10^6 \cdot \rho} = \frac{47(100 - 96,8)(100 - 26,7)}{10^6} = 11,0,$$

где ρ - объемная масса газа, $\rho = 1$ кг/м³.

2.7. Общий выход газа, м³

$$Q_{генг} = g_g Q_{mix} = 11,0 \cdot 853,2 = 9386,3.$$

Для хранения газа предусматриваются мокрые газгольдеры, вместимость которых рассчитывается на 2-4-часовой выход газа (табл.4.7).

Таблица 4.7

Характеристика мокрых газгольдеров

Вместимость газгольдера, м ³	Внутренний диаметр, мм		Высота, мм			Подъем купола, мм
	резервуара	колокола	газгольдера	резервуара	колокола	
100	7400	6600	6210	3450	3240	443
300	9300	8500	11150	5920	5710	745
600	11480	10680	14030	7930	7140	708
1000	14500	13700	18850	7930	7140	1178
3000	21050	20250	18850	9800	9550	1337
6000	26900	26150	22600	11750	11450	2248

2.8. При трехчасовом выходе газа необходимый объем газгольдеров составит, м³,

$$W_g = \frac{Q_{генг} \times 3}{24} = \frac{9386 \times 3}{24} = 1173,2.$$

Принимаем по табл. 4.7 два типовых газгольдера диаметром 11,48 м вместимостью 600 м³ каждый.

4.2. Аэробные сооружения

Аэробная стабилизация заключается в длительном аэрировании осадка в сооружениях типа аэротенк-вытеснитель или минерализатор. Наиболее распространенной и удобной схемой сбраживания осадка в аэробных условиях является подача сырого осадка и активного ила из вторичных отстойников в аэробный стабилизатор для длительного аэрирования, после чего осадок направляется в илоуплотнитель (рис.4.4). Влажность осадка после уплотнения составляет 96,5-98,5 %.

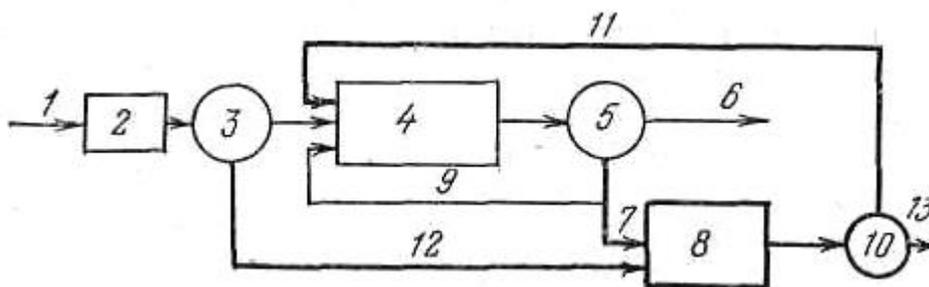


Рис. 4.4. Схема аэробного стабилизатора:

1 – поступающая сточная вода ; 2 - решетка и песколовка; 3 - первичный отстойник; 4 – аэротенк; 5 – вторичный отстойник; 6 – очищенная сточная вода; 7 – избыточный активный ил; 8 – аэробный стабилизатор; 9 – циркулирующий активный ил; 10 - илоуплотнитель; 11 – иловая вода; 12 – сырой осадок первичных отстойников; 13 – стабилизированный осадок

Пример 4.5. Рассчитать аэробный стабилизатор для очистной станции со среднесуточным расходом сточных во $Q_w = 42000 \text{ м}^3/\text{сут}$. Концентрация взвешенных веществ $C_{en} = 290 \text{ мг/л}$. Эффект отстаивания в первичных отстойниках принять 48 %. БПК_{полн} в сточных водах $L_{en} = 190 \text{ мг/л}$. Температура сточных вод $15 \text{ }^\circ\text{C}$.

1. Расход осадка из первичных отстойников поступающего в аэробный стабилизатор, $\text{м}^3/\text{сут}$,

$$Q_{mud} = \frac{C_{en} \cdot \text{Эк} \cdot Q_N}{10^6 \times (100 - P_{mud}) \rho_{mud}} = \frac{290 \cdot 48 \cdot 1,3 \cdot 42000}{10^6 (100 - 95) \times 1} = 152.$$

Расшифровка формул дана в примере 4.4.

2. Количество избыточного активного ила, $\text{м}^3/\text{сут}$,

$$Q_i = \frac{P_i n Q_w}{10^4 (100 - P) \rho_i} = \frac{(0,8 C_{cdp} + k_g L_{en} - a_t) n Q_w}{10^4 (100 - P) \rho_i} = \frac{(0,8 \times 150 + 0,3 \times 190 - a_t) \times 1,3 \times 42000}{10^4 (100 - 99,3) \times 1} = 1287.$$

3. Суточный расход смеси, поступающей в стабилизатор, $\text{м}^3/\text{сут}$,

$$Q_{mix} = Q_{mud} + Q_i = 152 + 1287 = 1439.$$

4. Необходимый объем стабилизатора, м^3 ,

$$W_{st} = Q_{mix} T \cdot \frac{20}{t_w} = 1439 \cdot 7 \cdot \frac{20}{15} = 13430,7,$$

где T – время стабилизации, для неуплотненного активного ила $T = 2 \dots 5$ сут, для смеси осадка первичных отстойников и неуплотненного ила $T = 6 \dots 7$ сут, для смеси осадка и уплотненного активного ила $T = 8 \dots 12$ сут;

t_w – температура сточной воды, $^\circ\text{C}$.

По табл. 27.7 [9] подбираем типовой двухкоридорный аэротенк-вытеснитель А-2-6-50 с объемом одной секции $W_1 = 3960 \text{ м}^3$.

5. Количество секций стабилизатора

$$n_s = \frac{W_{st}}{W_1} = \frac{13430,7}{3960} = 3,4.$$

6. Расход воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$,

$$Q_{air} = q_{air} W_{st} n_s = 1,5 \cdot 3960 \cdot 4 = 23760$$

где q_{air} – удельный расход воздуха на аэробную стабилизацию, $q_{air} = 1 \dots 2 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^3 вместимости стабилизатора в зависимости от концентрации осадка.

Глава 5. РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ ПО ОБЕЗВОЖИВАНИЮ ОСАДКА

Осадки, образующиеся в процессе очистки сточных вод, должны подвергаться обработке с целью обезвоживания, стабилизации, снижения запаха, обеззараживания, улучшения физико-химических свойств, обеспечивающих возможность их экологически безопасной утилизации или размещения (хранения или захоронения) в окружающей среде [1, п. 9.2.14.1]. Выбор технологических схем обработки осадков следует производить по результатам технико-экономических расчетов с учетом их состава и свойств, физико-химических и теплофизических характеристик и с учетом последующих методов использования или размещения в окружающей среде [1, п. 9.2.14.2].

Все жидкие осадки должны обезвоживаться до влажности не более 82 % естественным или механическим методами (с использованием обезвоживающего оборудования либо с использованием фильтрующих мешков или геотуб) [1, п. 9.2.14.22].

5.1. Обезвоживание осадка в естественных условиях

К сооружениям по обезвоживанию осадка в естественных условиях относятся иловые площадки, которые могут быть на естественном основании с дренажем и без дренажа, на искусственном асфальтобетонном основании с дренажем – каскадные с отстаиванием и поверхностным удалением иловой воды, площадки-уплотнители [1, п. 9.2.14.38].

5.1.1. Иловые площадки на естественном основании

Иловые площадки на естественном основании допускается проектировать при условиях залегания грунтовых вод на глубине не менее 1,5 м от поверхности карт и только в тех случаях, когда разрешается фильтрация иловых вод в грунт. При меньшей глубине залегания грунтовых вод следует предусматривать понижение их уровня или применять иловые площадки на искусственном асфальтобетонном основании с дренажем.

Пример 5.1. Рассчитать иловые площадки на естественном основании для очистной станции, расположенной в Саратовской области. Под иловые площадки отводится участок с песковыми грунтами и залеганием грунтовых вод на глубине 2,6 м от поверхности карт. На иловые площадки поступает сброженный в мезофильных условиях осадок из метантенков (см. п.3.1.4) в количестве 900,7 м³/сут.

1. Суточный расход сброженного осадка с учетом уменьшения его объема за счет уплотнения и сбраживания; м³/сут,

$$Q_f = \frac{Q_{mix}}{av} = \frac{900,7}{2 \times 2} = 225,2,$$

где Q_{mix} – общий расход смеси, поступающей на сбраживание;

a – коэффициент уменьшения объема осадка в результате распада его при сбраживании, $a = 2$;

v – коэффициент уменьшения объема осадка в результате уменьшения влажности с 95 до 90 %, $v = 2$.

2. Полезная площадь иловых площадок, м²,

$$F_u = \frac{Q_f \times 365}{Dn} = \frac{225,2 \times 365}{1,2 \times 1,05} = 65236,$$

где $365 Q_f$ – годовое количество осадка, м³/год;

D – средняя годовая нагрузка на иловые площадки, принимаемая по табл. 5.1, м³/(м²год);

N – климатический коэффициент, определяемый по СП [I, рис.1].

Таблица 5.1

Средняя годовая нагрузка на иловые площадки

Характеристика осадка	D , м ³ /(м ² год)
1. Сброженная смесь осадка из первичных отстойников и активного ила в мезофильных условиях	1,2
2. То же в термофильных условиях	0,8
3. Сброженный осадок из первичных отстойников и осадок из двухъярусных отстойников и осветлителей-перегнивателей	2

3. Допустимая площадь одной карты, м²,

$$F_1 = \frac{Q_{mud}}{h_1} = \frac{900,7}{0,3} \approx 3000,$$

где h_1 – высота налива осадка, м, $h_1 = 0,3$ м,

$$F_1 = B \times L = 30 \times 100 \text{ м.}$$

4. Число карт

$$N = \frac{F_u}{F_1} = \frac{65236}{3000} \approx 22,$$

что соответствует требованиям СП [I, п. 9.2.14.38], согласно которому число карт должно быть не менее четырех. Принимаем рабочую глубину карт $H = 0,8$ м, высоту оградительных валиков – на 0,3 м выше рабочего уровня, т.е. $H_1 = 1,1$ м, ширину валиков по верху $B = 2$ м, уклон дна разводящих труб $i = 0,01$.

5. Дополнительная площадь иловых площадок, занимаемая валиками, дорогами, канавами, м²:

$$F_c = k_1 F_u = 0,2 \times 65236 = 13047,2$$

где k_1 – коэффициент, учитывающий дополнительную площадь от полезной. Для больших станций $k_1 = 0,2$; для малых станций $k_1 = 0,4$.

6. Общая площадь иловых площадок, м²,

$$F_{gen} = F_u + F_c = 65236 + 13047,2 = 78283.$$

7. Высота зимнего намораживания иловых площадок, м,

$$h = \frac{Q_f T k_2}{F_u k_3} = \frac{225,2 \cdot 35 \cdot 0,75}{65236 \cdot 0,8} = 0,11,$$

что менее 0,9 м и соответствует рекомендациям СП [I]. Здесь T – продолжительность периода намораживания, т.е. число дней в году со средней суточной температурой воздуха -10 °С [I, рис. 1], $T = 35$ дней;

k_2 – коэффициент, учитывающий уменьшение объема осадка вследствие зимней фильтрации и испарения, $k_2 = 0,75$;

k_3 – коэффициент, учитывающий часть площади, отводимой под зимнее намораживание, $k_3 = 0,8$.

8. Количество подсушенного осадка за год, м³/год,

$$Q_d = Q_f \cdot 365 \cdot \frac{100 - P_{mid}}{100 - P_{ex}} = 225,2 \cdot 365 \cdot \frac{100 - 96,8}{100 - 80} = 13151,7,$$

где P_{mid} – средняя влажность сброженного осадка, $P_{mid} = 96,8$ % (см. п. 3.1.4.);

P_{ex} – влажность подсушенного осадка, $P_{ex} = 80$ %.

Уборка подсушенного осадка намечается экскаватором Э-352 производительностью $q = 35$ м³/ч. В течение года экскаватор будет работать

$$N = \frac{Q_d}{q} = \frac{13151,7}{35} = 375 \text{ ч.}$$

5.1.2. Иловые площадки-уплотнители

Площадки-уплотнители представляют собой прямоугольные карты-резервуары с

водонепроницаемым

днищем и стенками с

рабочей глубиной до 2 м

(рис. 5.1).

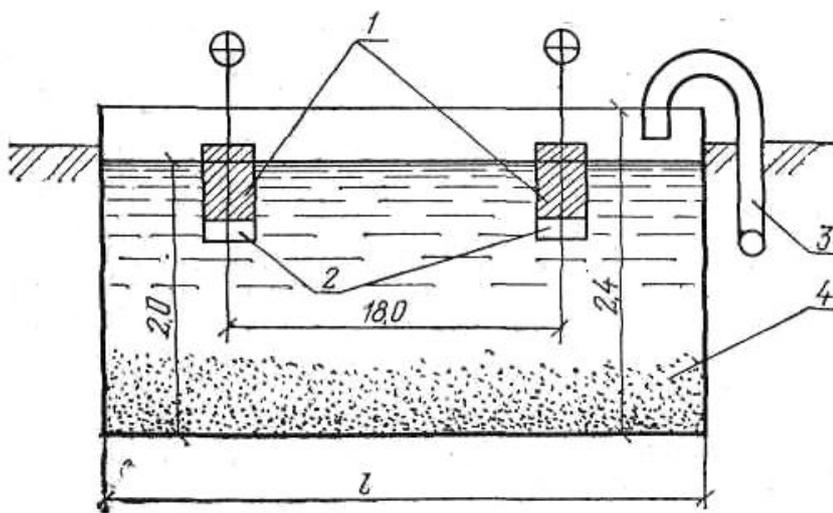


Рис. 5.1. Иловые площадки-уплотнители:

- 1 – шиберы;
 2 – водосливные отверстия; 3 – трубопровод подачи осадка;
 4 – резервуар

Площадки-уплотнители имеют водосливные отверстия, которые располагаются в продольной стенке на разных глубинах и перекрываются шиберами. Возможность отвода отстоявшейся иловой воды с разных глубин способствует быстрому обезвоживанию осадка и позволяет значительно увеличить годовую нагрузку. Иловая вода периодически удаляется и направляется в приемную чашу очистных сооружений.

Пример 5.2. Рассчитать иловые площадки-уплотнители для сброженного в мезофильных условиях осадка в метантенке. Общий расход смеси $Q_{mix} = 900,7 \text{ м}^3/\text{сут}$. Очистные сооружения располагаются в Саратовской области.

1. Суточный расход сброженного осадка, $\text{м}^3/\text{сут}$,

$$Q_f = \frac{Q_{mix}}{a \cdot b} = \frac{900,7}{2 \cdot 2} = 225,2.$$

2. Полезная площадь иловых площадок, м^2 ,

$$F_u = \frac{Q_f \cdot 365}{D \cdot n \cdot k} = \frac{225,2 \cdot 365}{1,5 \cdot 1,05 \cdot 2} = 26094,6,$$

где D – средняя годовая нагрузка на иловые площадки-уплотнители, принимаемая по табл. 5.2.

n – климатический коэффициент, $n = 1,05$;

k – коэффициент увеличения нагрузки, $k = 2$.

Таблица 5.2

Годовая нагрузка на иловые площадки-уплотнители

Характеристика осадка	$D, \text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$
1. Сброженная в мезофильных условиях смесь осадка из первичных отстойников и активного ила	1,5
2. То же в термофильных условиях	1,0
3. Сброженный осадок из первичных отстойников и осадок из двухъярусных отстойников	2,3
4. Аэробно-стабилизированная смесь	

активного ила и осадка из первичных отстойников или стабилизированный активный ил	1,5
---	-----

Принимаем соответственно ширину и длину карты-резервуара $B = 18$ м, $L = 54$ м, $F_1 = 972$ м².

3. Число карт составит

$$N = \frac{F_u}{F_1} = \frac{26094,6}{972} = 26,8.$$

Принимаем двадцать семь карт.

4. Общая площадь иловых площадок, га,

$$F_{gen} = 1,3F_u = 1,3 \cdot 27 \cdot 972 = 3,42,$$

где 1,3 – коэффициент увеличения на дополнительную площадь.

5. Высота зимнего намораживания при условии, что зимой выгрузка осадка не предусматривается, м,

$$h = \frac{Q_f T k_2}{F_u k_3} = \frac{225,2 \cdot 35 \cdot 0,75}{27 \cdot 972 \cdot 0,8} = 0,28,$$

что меньше высоты площадок-уплотнителей.

6. Расход иловой воды, м³/сут, удаляемой из резервуаров в течение суток, составляет 30 % расхода осадка, т.е.:

$$q_l = 0,3Q_f = 0,3 \cdot 225,2 = 67,6.$$

Концентрация загрязнений в иловой воде: $C_1 = 2000$ мг/л, $L_1 = 2000$ мг/л.

Иловая вода направляется в приемную чашу очистных сооружений.

5.1.3. Иловые площадки с отстаиванием и поверхностным удалением иловой воды

В районах с климатическим коэффициентом $n \leq 1$ и менее для очистных сооружений производительностью Q_w более 10000 м³/сут следует предусматривать иловые площадки с отстаиванием и поверхностным отводом иловой воды. Проектирование иловых площадок указанного типа целесообразно на малофильтрующих грунтах. Конструктивно иловые площадки оформляются в виде каскадов, состоящих из 4-8 карт каждый (рис.5.2). Число каскадов 4-7, число карт в каждом каскаде 4-8.



Рис. 5.2. Схема иловых площадок с отстаиванием и поверхностным удалением иловой воды

Пример 5.3. Рассчитать иловые площадки с отстаиванием и поверхностным удалением иловой воды для осадка, сброженного в мезофильных условиях. Количество осадка $Q_{mix} = 1953 \text{ м}^3/\text{сут}$. Очистные сооружения находятся в Пензенской области на глиняном грунте с уклоном местности $i = 0,05$.

1. Суточный расход сброженного осадка, $\text{м}^3/\text{сут}$,

$$Q_f = \frac{Q_{mix}}{a \cdot v} = \frac{1953}{2 \cdot 2} = 488.$$

2. Полезная площадь иловых площадок, м^2 ,

$$F_u = \frac{Q_f \cdot 365}{D \cdot n \cdot k} = \frac{488 \cdot 365}{2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,2} = 74217,$$

где D – нагрузка осадка на иловые площадки (табл.5.3);

n – климатический коэффициент, для Пензенской области $n = 1,0$;

k – коэффициент увеличения нагрузки, $k = 1,2$.

Таблица 5.3

Годовая нагрузка на иловые площадки с отстаиванием

Характеристика осадка	$D, \text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$
1. Сброженная в мезофильных условиях смесь осадка из первичных отстойников	1,5
2. То же в термофильных условиях	1,0
3. Сброженный осадок из первичных отстойников и осадок из двухъярусных отстойников	2,0
4. Аэробно-стабилизированная смесь активного ила и осадка из первичных отстойников или стабилизированный активный ил	1,5

Ширина карт B принимается исходя из уклона местности (табл.5.4).

Таблица 5.4

Ширина карт

Уклон местности $i, \text{м}$	Ширина карты $B, \text{м}$	Отношение ширины к длине, $B:L$
0,04-0,08	30-100	1:2 - 1:2,5
0,01-0,04	50-100	
0,01	60-100	

Принимаем ширину карты 30 м, длину карты 60 м с площадью $F_1 = 1800 \text{ м}^2$. Высота оградительных валиков и насыпей для дорог 2,5 м.

3. При числе каскадов $n_c = 6$ число карт в одном каскаде составит

$$N = \frac{F_u}{n_c \cdot F_1} = \frac{74217}{6 \cdot 1800} = 6,87.$$

Принимаем семь карт с отстаиванием и поверхностным удалением воды в каждом каскаде.

4. Общая площадь иловых площадок с учетом дополнительной площади, занимаемой валиками, дорогами, м^2 ,

$$F = k_1 F_u = 1,3 \cdot 6 \cdot 7 \cdot 1800 = 75600,$$

где k_1 – коэффициент, учитывающий дополнительную площадь под валики, дороги, $k_1 = 1,3$.

5. Количество иловой воды составляет 30-50 % от количества обезвоживаемого осадка, $\text{м}^3/\text{сут}$, т.е.:

$$q_1 = 0,4 Q_f = 0,4 \cdot 488 = 195,2.$$

Иловая вода направляется в приемную чашу очистных сооружений. Дополнительные загрязнения от иловой воды составляют: по взвешенным веществам $C = 1000 \text{ мг/л}$, по БПК_{полн} $L = 1000 \text{ мг/л}$.

5.2. Обезвоживание в искусственных условиях

Удаление влаги из осадков механическим путем является наиболее экономичным и распространенным методом снижения их влажности, массы и объема. Для механического обезвоживания осадков рекомендуется использовать центрифуги и ленточные фильтр-прессы. При обосновании допускается использовать камерные фильтр-прессы, шнековые прессы и другое оборудование. Тип оборудования и число рабочих и резервных аппаратов следует устанавливать по характеристикам и требованиям производителей оборудования. [П. п. 9.2.14.24]

Метод обезвоживания зависит от схемы обработки и использования осадков сточных вод.

5.2.1. Вакуум-фильтры

Анаэробно-сброженные осадки сточных вод имеют высокое удельное сопротивление, что затрудняет процесс обезвоживания их на вакуум-фильтрах. Устойчивая работа вакуум-фильтров обеспечивается при условии, что удельное сопротивление осадка не превышает $60 \cdot 10^{10}$ см/г. Поэтому сброженный осадок перед вакуум-фильтрованием подвергается промывке с последующим уплотнением и обработке химическими реагентами, которые позволяют укрупнять мелкодисперсные и коллоидные частицы и перевести часть связанной влаги в свободное состояние. В качестве реагентов для коагуляции осадков при обезвоживании применяются хлорное или сернокислое железо и известь.

Схема обезвоживания осадков вакуум-фильтрованием представлена на рис.5.3.

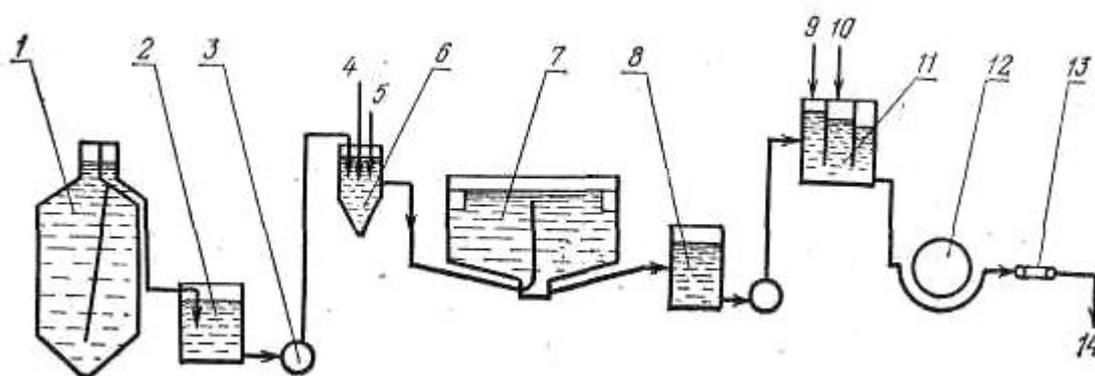


Рис. 5.3. Схема обезвоживания сброженных осадков на вакуум-фильтрах:

1 – метантенк; 2 – резервуар сброженного осадка; 3 – насос; 4 – промывная вода; 5 – сжатый воздух; 6 – резервуар промывки; 7 – уплотнитель; 8 – резервуар уплотненного осадка; 9 – подача хлорного железа; 10 – подача раствора извести; 11 – смеситель с реагентами; 12 – вакуум-фильтр; 13 – транспортер; 14 – кек

Расчет производится в технологической последовательности.

Пример 5.4. Рассчитать схему обезвоживания на вакуум-фильтрах сброженного осадка в метантенках в мезофильном режиме: $Q_{max} = 900,7$ м³/сут, количество сухого вещества $Q_d = 594,5$ т/сут.

1. Промывка осадка.

Производится очищенной сточной водой. Суточный расход промывной воды на 1 м³ осадка принимается $Q_n = 2...3$ м³. Продолжительность промывки $T = 15...20$ мин.

1.1. Суточный расход смеси осадка и промывной воды, м³/сут,

$$Q_{mix p} = Q_{mix} (1 + n) = 900,7 (1 + 2) = 2702,1,$$

где n – расход промывной воды, м³/м³; $n = 2$ м³/м³.

1.2. Объем промывных резервуаров, м³,

$$W = \frac{Q_{mix p}}{24} \frac{T}{60} = \frac{2702,1 \cdot 20}{24 \cdot 60} = 37,5.$$

Принимаем два резервуара рабочим объемом 19 м³ каждый.

1.3. Расход воздуха для перемешивания смеси осадка и промывной воды сжатым воздухом из расчета 0,5 м³ на 1 м³ смеси составит, м³/ч,

$$Q_{air} = \frac{Q_{mixp}}{24} \cdot 0,5 = \frac{2702,1}{24} \cdot 0,5 = 56,3.$$

2. Уплотнение осадка.

Уплотнение осадка осуществляется в радиальных или вертикальных отстойниках-уплотнителях, рассчитанных на 12–18-часовое пребывание в них смеси при мезофильном режиме сбраживания, и на 20–24-часовое – при термофильном. Количество уплотнителей должно быть не меньше двух [1, п. 9.2.14.26]. Принимаем два радиальных илоуплотнителя с продолжительностью уплотнения 15 ч.

2.1. Рабочий объем уплотнителей, м³,

$$W_d = \frac{Q_{mixp}}{24} \cdot T = \frac{2702,1}{24} \cdot 15 = 1688,8,$$

где T – время уплотнения, $T = 15$ ч.

2.2. Объем иловой части уплотнителей на хранение осадка влажностью $P_{ex} = 95$ % в течение 2 сут:

$$W_i = \frac{Q_{mixp} \cdot (100 - P_{mixp}) \cdot 2}{100 - P_{ex}} = \frac{2702,1 \cdot (100 - 98,9) \cdot 2}{100 - 95} = 1188,9 \text{ м}^3,$$

где P_{mixp} – средняя влажность смеси промывного осадка, %,

$$P_{mixp} = 100 - \frac{(100 - P_{mix}) \cdot Q_{mix}}{Q_{mixp}} = 100 - \frac{(100 - 96,8) \cdot 900,7}{2702,1} = 98,9.$$

2.3. Общий объем уплотнителей, м³,

$$W_{gen} = 1688,8 + 1188,9 = 2877,7.$$

По табл. 3.2. принимаются основные параметры вторичных радиальных канализационных отстойников: диаметр $D = 24$ м, объем $W = 1400 + 280 = 1680$ м³. Число уплотнителей – два.

2.4. Расход промывного и уплотненного осадка влажностью $P_{ex} = 95$ %, м³/сут,

$$Q_d = Q_{mixp} \cdot \frac{100 - Q_{mixp}}{100 - P_{ex}} = 2702,1 \cdot \frac{100 - 98,9}{100 - 95} = 594,5.$$

2.5. Расход сливной воды, отводимой из уплотнителя, м³/сут,

$$q_l = Q_{mixp} - Q_d = 2702,1 - 594,5 = 2107,6.$$

Концентрация загрязнений в сливной воде принимается по взвешенным веществам $C_1 = 800 \dots 1300$ мг/л, по БПК_{полн} $L_1 = 600 \dots 900$ мг/л [1, п. 9.2.14.28]. Сливная вода подается в приемную чашу очистных сооружений, поэтому необходимо учитывать дополнительную концентрацию загрязнений, поступающих в первичные отстойники и аэротенки. В том случае, когда требуется увеличение объемов первичных отстойников и аэротенков, рекомендуется проводить промывку осадка 0,1%-ным раствором хлорного железа. При этом расход промывного раствора уменьшается по сравнению с обычной промывкой в 2 раза, а концентрация загрязнений в сливной воде – в 3-5 раз.

3. Коагулирование сброженного осадка.

Коагулирование производится хлорным железом и известью в виде 10 %-ного раствора. Принимается следующая доза коагулянтов для сброженной промытой смеси первичных отстойников и избыточного активного ила:

чистого хлорного железа - 4 – 6 %;

активной извести - 12 – 20 % массы сухого вещества осадка.

Добавка извести в осадок производится после введения хлорного железа.

3.1. Расход хлорного железа по чистому веществу, т/сут,

$$Q_{FeCl_3} = \frac{Q_d \cdot (100 - P_{ex}) \cdot 5}{100 \cdot 100} = \frac{594,5 \cdot (100 - 95) \cdot 5}{100 \cdot 100} = 1,5,$$

что по товарному продукту при содержании чистого хлорного железа 60 % составляет, т/сут,

$$Q_{FeCl_3}^T = \frac{1,5}{0,6} = 2,5.$$

3.2. Расход активной извести, т/сут,

$$Q_{CaO} = \frac{Q_d \cdot (100 - P_{ex}) \cdot 16}{100 \cdot 100} = \frac{594,5 \cdot (100 - 95) \cdot 16}{100 \cdot 100} = 4,7,$$

что по товарному продукту при содержании активной извести 70 % составляет, т/сут,

$$Q_{CaO}^T = \frac{4,7}{0,7} = 6,7.$$

4. Обезвоживание осадка.

Для обезвоживания осадка городских сточных вод применяются барабанные вакуум-фильтры типа БОУ и вакуум-фильтры со сходящим полотном типа БсхОУ.

4.1. Рабочая площадь вакуум-фильтра, м²,

$$F_1 = \frac{Q_d \cdot (100 - P_{ex}) \cdot 1000}{100 \cdot q \cdot T} = \frac{594,5 \cdot 5 \cdot 1000}{100 \cdot 20 \cdot 20} = 74,3,$$

где P_{ex} – влажность осадка, подаваемого на вакуум-фильтры, %;

q – часовая пропускная способность вакуум-фильтра по сухому веществу, кг/(м²·ч) (табл. 5.5);

T – время работы вакуум-фильтров в сутки, $T = 20$ ч.

Таблица 5.5

Часовая пропускная способность вакуум-фильтров по сухому веществу

Характеристика обрабатываемого осадка	Производительность вакуум-фильтра, кг/(м ² ·ч)	Влажность кека, %
Сброженный осадок их первичных отстойников	25 - 35	75 - 77
Сброженная в мезофильных условиях смесь осадка из первичных отстойников и активного ила, аэробно-стабилизированный активный ил	20 - 25	78 - 80
Сброженная в термофильных условиях смесь осадка из первичных отстойников и активного ила	17 - 22	78 - 80
Сырой осадок из первичных отстойников	30 - 40	72 - 75
Смесь сырого осадка из первичных отстойников и уплотненного активного ила	20 - 30	75 - 80
Уплотненный активный ил станции аэрации населенных пунктов	8 - 12	85 - 87

По табл. 5.6. принимаем четыре рабочих и два резервных вакуум-фильтра БОУ-20-26 с фильтрующей поверхностью $F_1 = 20 \text{ м}^2$ каждый.

Количество резервных вакуум-фильтров следует принимать:

- при количестве рабочих единиц до трех – 1;
- от четырех до десяти – 2.

Таблица 5.6

Техническая характеристика барабанных вакуум-фильтров

Показатель	Марка фильтра			
	БОУ-5-1,75	БОУ-10-2,6 БсхОУ-10-2,6	БОУ-20-2,6	БОУ-40-3,4 БсхОУ-40-3,4
Площадь поверхности фильтрования, м ²	5	10 (10)	20	40 (40)
Диаметр барабана, мм	1762	2612 (2600)	2612	3000 (3400)
Длина барабана, мм	960	1350 (1300)	2702	4400 (3800)
Частота вращения барабана, об/мин	0,13-2	0,13-2	0,13-2	0,436-1,178 (0,1-1,45)
Объем жидкости в корыте, л	1300	2700 (2700)	4200	3000 (7000)
Мощность двигателя, кВт	1,1	2,2 (1,7)	3	3,4-4,1 (8)
Габаритные размеры, мм	2680×2410×265 0	3420×3320×3415 (3165×4100×3052)	4750×3230×3830	6660×4300×3640 (6300×5115×3725)

Масса фильтра с приводами, кг	4490	7857 (7600)	14432	17820 (17423)
-------------------------------	------	----------------	-------	------------------

4.2. Количество кека при влажности 80 %, м³/сут,

$$Q_c = Q_d \cdot \frac{100 - 95}{100 - 80} = 594,5 \cdot \frac{100 - 95}{100 - 80} = 148,6.$$

4.3. Количество образующегося фильтрата, м³/сут,

$$Q_f = Q_d - Q_c = 594,5 - 148,6 = 445,9.$$

Фильтрат направляется в илоуплотнители.

4.4. Расход воздуха вакуум-насоса, м³/мин,

$$Q_{air} = q \cdot F_1 = 0,5 \cdot 20 = 10,$$

где q – удельный расход воздуха; $q = 0,5$ м³/мин на 1 м² площади фильтра.

Из табл. 5.7 принимаем вакуум-насос марки ВВН-12 с подачей $Q_{air} = 12$ м³/мин на каждый фильтр.

Таблица 5.7

Техническая характеристика вакуум-насосов и воздуходувок

Марка вакуум-насоса или воздуходувки	Подача, м ³ /мин		Потребляемая мощность, кВт	
	вакуум-насос при вакууме 70 %	воздуходувки при избыточном давлении нагнетания 50 кПа	вакуум-насоса	воздуходувки
ВВН-1,5	1,5	1,5	3,4	3,3
ВВН-3	3,0	3,3	5,5	5,3
ВВН-6	6,0	6,0	13,0	13,4
ВВН-12	12,0	10,4	18,0	21,0
ВВН-25	25,0	25,0	58,0	63,0
ВВН-50	50,0	53,0	100,0	120,0

4.5. Расход сжатого воздуха на отдувку кека, м³/мин,

$$Q_{air}' = q' \cdot F_1 = 0,1 \cdot 20 = 2,$$

где q' – удельный расход сжатого воздуха на отдувку кека, $q' = 0,1$ м³/мин на 1 м².

Из табл. 5.7 принимаем воздуходувки марки ВВН-3 с подачей 3,3 м³/мин на каждый фильтр.

5. Складирование обезвоженного осадка.

Для складирования обезвоженного осадка предусматривается открытая площадка, которая рассчитывается на 3-4-месячное хранение кека при высоте слоя осадка 1,5-3 м. Площадь площадки определяется по формуле, м²,

$$F = \frac{Q_c \cdot 3,5 \cdot 30}{h} = \frac{148,6 \cdot 3,5 \cdot 30}{2} = 7801,5,$$

где h – высота слоя кека на площадке, $h = 2$ м. Принимаем $B \times L = 80 \times 100$ м.

6. Расчет аварийных иловых площадок.

При механическом обезвоживании осадка необходимо предусматривать аварийные иловые площадки [I] на 20 % годового количества осадка.

Полезная площадь иловых площадок, м^2 ,

$$F_u = \frac{Q_{\text{mix}} \cdot T}{K \cdot n} = \frac{900,7 \cdot 365 \cdot 20}{1,2 \cdot 1,05 \cdot 100} = 52183,$$

где Q_{mix} – расход сброженного осадка, $\text{м}^3/\text{сут}$;

K – нагрузка осадка на иловые площадки, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, $K = 1,2 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$;

n – климатический коэффициент, $n = 1,05$.

Дальнейший расчет аналогичен примеру 5.1.

5.2.2. Фильтр-прессы

Для обезвоживания осадка на очистных станциях применяют фильтр-прессы типа ФПАКМ. Схема установки фильтр-пресса типа ФПАКМ показана на рис. 5.4.

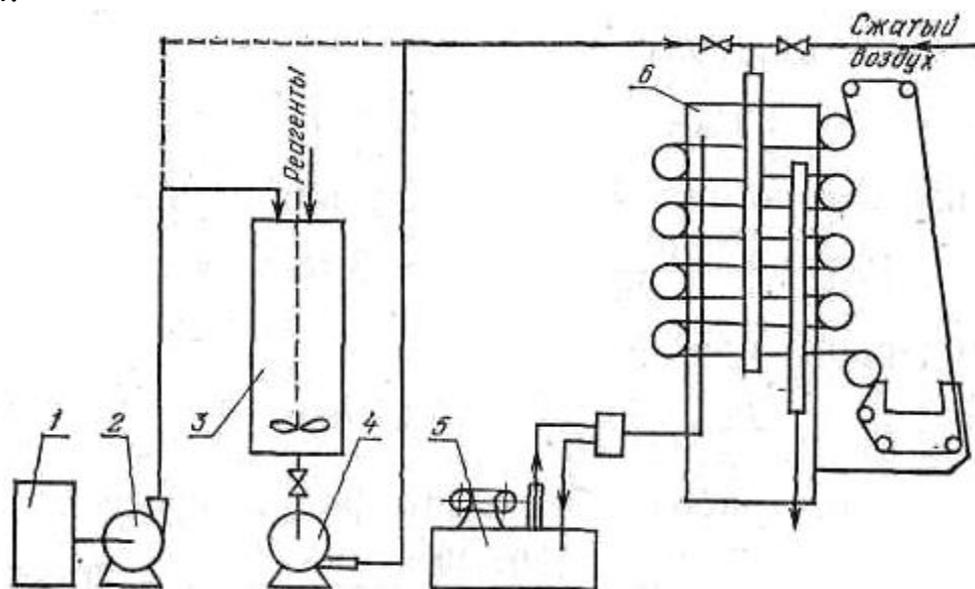


Рис. 5.4. Схема установки фильтр-пресса типа ФПАКМ:

1 – резервуар для осадка; 2 – насос для подачи осадка; 3 – резервуар для смешения осадка с реагентами; 4 – насос для подачи осадка на фильтр; 5 – водонасосная станция; 6 – фильтр-пресс; 7 – подача сжатого воздуха

Фильтры типа ФПАКМ выпускаются с площадью поверхности фильтрования $F = 2,5 \dots 50 \text{ м}^2$. Предусмотрен выпуск фильтров марок ФПАВ-100 и ФПАВ-300 с площадью поверхности фильтрования соответственно 100 и 300 м^2 . Техническая характеристика фильтров ФПАКМ и ФПАВ дана в табл.5.8.

Таблица 5.8

Характеристика фильтр-прессов

Показатель	Марка фильтр-пресса						
	ФПАКМ-ФПАВ-2,5У	ФПАКМ-5У	ФПАКМ-10У	ФПАКМ-25У	ФПАКМ-50У	ФПАВ-100	ФПАВ-300
Площадь поверхности фильтрования, м ²	2,5	5	10	25	50	100	300
Напор, м	120	120	120	120	120	100	80
Число фильтрующих плит, шт.	6	6	12	16	20	55	111
Ширина фильтрующей ткани, мм	700-750	845-920	845-920	1100-1200	1450	1600	1600

Пример 5.5. Рассчитать систему обезвоживания на фильтр-прессах осадка, сброженного в метантенках, количеством 900,7 м³/сут.

1. Расход хлорного железа по чистому продукту при дозе 7 % массы сухого вещества осадка, т/сут,

$$Q_{FeCl_3} = \frac{900,7 \cdot (100 - P_{mix}) \cdot 7 \cdot \rho}{100 \cdot 100} = \frac{900,7 \cdot (100 - 96,8) \cdot 7 \cdot 1}{100 \cdot 100} = 2,0,$$

что по товарному продукту составляет

$$Q^T_{FeCl_3} = \frac{2,0}{0,6} = 3,33 \text{ т/сут.}$$

2. Расход извести по чистому продукту при дозе 15 % массы сухого вещества осадка, т/сут,

$$Q_{CaO} = \frac{900,7 \cdot (100 - 96,8) \cdot 15 \cdot 1}{100 \cdot 100} = 4,32$$

или по товарному продукту, т/сут,

$$Q^T_{CaO} = \frac{4,32}{0,7} = 6,2.$$

3. Необходимая рабочая площадь фильтр-прессов, м²,

$$F = \frac{Q_{mix} \cdot (100 - P_{mix}) \cdot 1000}{100 \cdot q \cdot T} = \frac{900,7 \cdot (100 - 96,8) \cdot 1000}{100 \cdot 15 \cdot 24} = 80,$$

где q – пропускная способность фильтр-прессов (табл.5.9), $q = 15$ кг/(м²·ч);
 T – продолжительность работы фильтр-прессов за сутки, $T = 24$ ч.

Таблица 5.9

Производительность фильтр-прессов в зависимости от характеристики обрабатываемого осадка

Характеристика обрабатываемого осадка	Производительность фильтр-пресса, кг/(м ² ·ч)	Влажность кека, %
Сброженный осадок из первичных отстойников	12-17	60-65
Сброженная в мезофильных условиях смесь осадка из первичных отстойников и активного ила, аэробно-стабилизированный активный ил	10-16	62-68
Сброженная в термофильных условиях смесь осадка из первичных отстойников и активного ила	7-13	62-70
Сырой осадок из первичных отстойников	12-16	55-60
Смесь сырого осадка из первичных отстойников и уплотненного активного ила	5-12	62-75
Уплотненный активный ил станции аэрации населенных пунктов	2-7	80-83

Принимаем к установке два рабочих и один резервный фильтр-пресс марки ФПАКМ-50У с площадью фильтрующей поверхности 50 м² каждый.

4. Количество образующегося кека при влажности 65 %, м³/сут,

$$Q_c = Q_{mix} \cdot \frac{(100 - P_{en})}{100 - P_{ex}} = \frac{900,7 \cdot (100 - 96,8)}{100 - 65} = 82,3.$$

5. Количество фильтрата, м³/сут,

$$Q_f = Q_{mix} - Q_c = 900,7 - 82,3 = 818,4.$$

Фильтрат направляется во внутриплощадочную сеть канализации.

6. Площадь площадки для складирования кека, м²,

$$F = \frac{Q_c \cdot T}{h} = \frac{82,3 \cdot 4,0 \cdot 30}{2} = 4938,$$

где T – период накопления, $T = 4,0$ мес.;

h – высота загрузки, $h = 2$ м.

7. Расчет резервных иловых площадок аналогичен варианту расчета вакуум-фильтров (п.5.2.1).

5.2.3. Центрифуги

Для очистки городских сточных вод рекомендуется применять непрерывно действующие осадительные центрифуги со шнековой выгрузкой обезвоженного осадка типа ОГШ на очистной станции - производительностью до 100 тыс. м³/сут. Основные технические данные центрифуг приведены в табл.5.10.

Таблица 5.10

Техническая характеристика центрифуг

Показатель	Тип центрифуги		
	ОГШ-35К-6	ОГШ-50К-4	ОГШ-631К-2
Расчетная производительность по исходным осадкам, м ³ /ч	4-6	9-14	25-35
Диаметр ротора, мм	350	500	630
Длина ротора, мм	630	900	2370
Габариты, мм	2380×1585×1030	2710×1990×1526	4530×2780×1430
Масса, т	1,2	1,8	12
Мощность электродвигателя, кВт	22	28; 32	100

Схема обезвоживания осадка центрифугированием показана на рис.5.5.

Пример 5.6. Рассчитать центрифуги, работающие по схеме 5.5, при следующих данных:

- суточный расход сырого осадка в первичных отстойниках при влажности 95 % $Q_{mud} = 197 \text{ м}^3$;
- суточная масса осадка по сухому веществу $Q_{mud d} = 9,85 \text{ т}$;
- суточный расход уплотненного избыточного активного ила при влажности 97,2 % $Q_i = 703,7 \text{ м}^3$;
- суточная масса избыточного ила по сухому веществу $Q_{id} = 19,7 \text{ т}$;
- эффективность задержания сухого вещества при центрифугировании аэробно-стабилизированной смеси сырого осадка и активного ила $\mathcal{E} = 35 \%$.
- влажность кека 70 %.

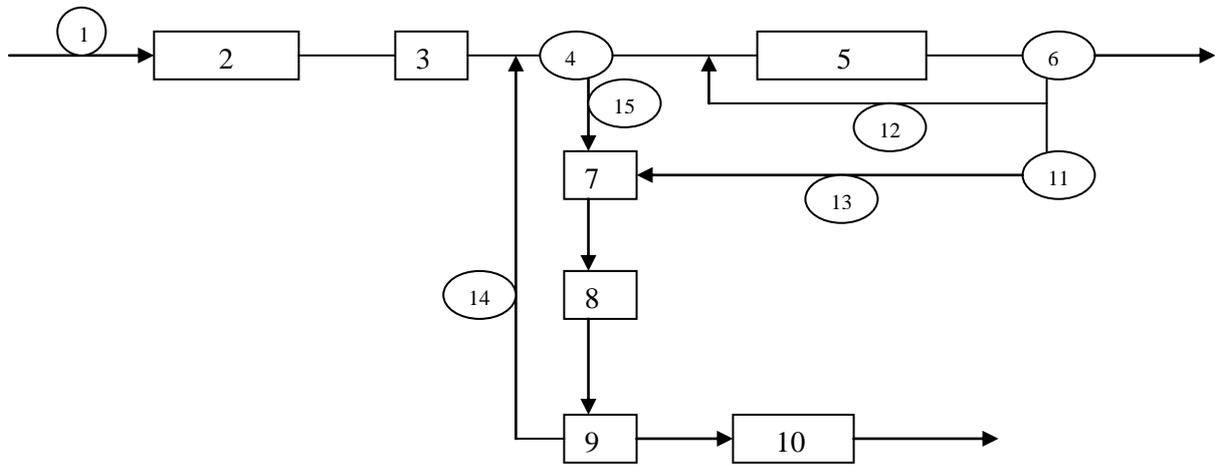


Рис. 5.5. Схема обезвоживания осадка центрифугированием:

1 – сточная воды; 2 – решетка; 3 – песколовка; 4 – первичный отстойник; 5 – аэротенк; 6 – вторичный отстойник; 7 – метантенк; 8 – решетка-дробилка; 9 – центрифуга; 10 – термообработка; 11 – илоуплотнитель; 12 – циркулирующий активный ил; 13 – избыточный активный ил; 14 – фугат; 15 – осадок из первичных отстойников; 16 – кек

Для обезвоживания осадка принимаем две рабочих центрифуги типа ОГШ-631К-2 (см. табл. 5.10) пропускной способностью $q = 28 \text{ м}^3/\text{ч}$.

1. Продолжительность работы центрифуги при обезвоживании смеси сырого осадка и активного ила, ч,

$$T = \frac{Q_{mud} + Q_{il}}{n \cdot q} = \frac{197 + 703,7}{2 \cdot 28} = 16,1.$$

2. Масса сухого вещества осадка, извлеченного в кек за сутки, т,

$$M_c = \frac{(Q_{mudd} + Q_{id})}{100} \cdot \vartheta = \frac{(9,85 + 19,7) \cdot 35}{100} = 10,34.$$

3. Объем кека за сутки при влажности $P = 70 \%$, м^3 ,

$$W_c = \frac{M_{mud} \cdot 100}{(100 - P) \cdot \rho} = \frac{10,34 \cdot 100}{(100 - 70) \cdot 1,1} = 31,33.$$

4. Количество образующегося фугата, $\text{м}^3/\text{сут}$,

$$Q_f = Q_{mud} + Q_i - W_c = 197 + 703,7 - 31,33 = 869,37.$$

5. Масса сухого вещества, оставшегося в фугате за сутки, т,

$$M_f = Q_{id} + Q_{mudd} - M_c = 19,7 + 9,85 - 10,34 = 19,21.$$

6. Концентрация сухого вещества в фугате, г/л,

$$C_f = \frac{M_f}{Q_f} = \frac{19,21 \cdot 10^6}{869,37 \cdot 10^3} = 22,1.$$

Фугат направляется в первичные отстойники (рис 5.5). При этом необходимо учитывать увеличение нагрузки на отстойники на 25-35 %.

Согласно п.9.2.14.32 [1] за количество резервных принимаем одну центрифугу.

Для повышения эффективности задержания сухого вещества до 90-95 % следует применять флокулянты. Но при этом производительность центрифуг необходимо принимать в два раза меньше.

Производим перерасчет центрифуг на вышеприведенные исходные данные с применением флокулянта. Тогда для обезвоживания осадка принимаем $n_{c.f.}=4$, четыре центрифуги типа ОГШ-6311К-2 пропускной способностью $q^1 = 14 \text{ м}^3/\text{ч}$ и 2 резервных [1, п. 9.2.14.32]

1¹. Продолжительность работы, ч, центрифуг при обезвоживании смеси сырого осадка и активного ила $Q_{mix} = Q_{mud} + Q_i = 197 + 703,7 = 900,7 \text{ м}^3$ составит

$$T^1 = \frac{Q_{mix}}{n_{c.f.} \cdot q^1} = \frac{900,7}{4 \cdot 14} = 16,1.$$

2¹. Масса сухого вещества осадка, извлеченного в кека за сутки, т:

$$M'_c = \frac{(Q_{mudd} + Q_{i.d}) \cdot \mathcal{E}^1}{100} = \frac{(9,85 + 19,7) \cdot 90}{100} = 26,6.$$

3¹. Объем кека за сутки при влажности $P = 70 \%$, м^3 ,

$$W_c^1 = \frac{M^1_{mud} \cdot 100}{(100 - P) \cdot \rho} = \frac{26,6 \cdot 100}{(100 - 70) \cdot 1.1} = 80,6.$$

4¹. Количество образующегося фугата, $\text{м}^3/\text{сут}$,

$$Q_f^1 = Q_{mud} + Q_i - W_c^1 = 197 + 703,7 - 80,6 = 820,1.$$

5¹. Масса сухого вещества в фугате, г/л:

$$M'_f = Q_{id} + Q_{mudd} - M'_c = 19,7 + 9,85 - 26,6 = 2,9.$$

6¹. Концентрация сухого вещества в фугате, г/л,

$$C'_f = \frac{M'_f}{Q'_f} = \frac{2,9 \cdot 10^6}{820,1 \cdot 10^3} = 3,54.$$

Как видно из расчетов, применение флокулянтов приводит с одной стороны к увеличению количества центрифуг в 2 раза, но при этом концентрация сухого вещества в фугате снижается с 22,1 до 3,54 г/л. Выбор того или иного варианта применения центрифуг должен мотивироваться технико-экономическими показателями.

Глава 6. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ОСАДКОВ

Практически все возбудители болезней человека (бактерии, вирусы и яйца гельминтов) могут попадать в сточные воды и, следовательно, находиться в осадке. Обеззараживание и обезвреживание осадка (дегельментизация) возможны при термической обработке, обеспечивающей прогрев всей массы осадка до температуры не менее 60°C. Обработка осадка при более высокой температуре позволяет уничтожить в нем не только яйца гельминтов и патогенные микроорганизмы, но и вирусы. Для обеззараживания и обезвреживания осадка могут применяться термические (прогревание, сушка, сжигание), биотермические, химические и биологические методы, а также различные физические воздействия (радиация, излучение и т.д.). Целесообразнее и экономически эффективнее осуществлять обеззараживание осадков после их обезвоживания.

6.1. Дегельментизация обезвоженных осадков

Для осуществления процесса дегельментизации в производственных условиях предложена установка, схема которой представлена на рис. 6.1. Камеры дегельментизации предназначены для обеззараживания механически обезвоженных осадков на очистных станциях производительностью до 20-30 тыс. м³/сут сточных вод. Осадок, прошедший дегельментизацию, может утилизироваться в качестве удобрения.

Количество камер дегельментизации выбирается исходя из технической характеристики камеры типа КДГМ [9].

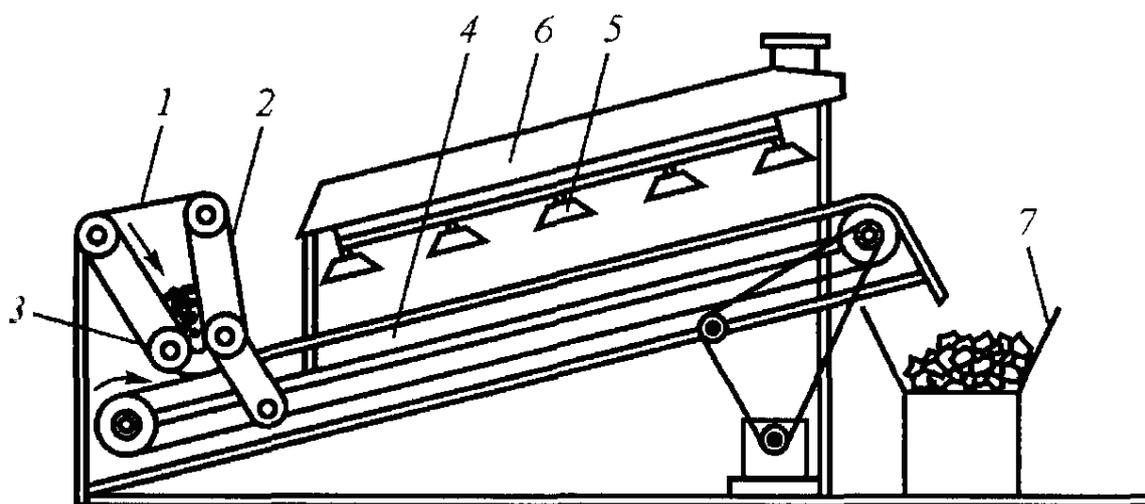


Рис. 6.1. Схема установки по дегельментизации осадков:

1 – приемный бункер; 2 – подвижные стенки бункера; 3 – регулировочные валы; 4, 7 – транспортер; 5 – газовые горелки; 6 – вытяжной зонт

Таблица 6.1

Техническая характеристика типовой камеры дегельментизации КДГМ

Производительность по обезвоженному осадку, м ³ /ч	0,4 – 0,6
Толщина слоя осадка, мм	20 – 25
Скорость движения ленты металлического транспортера, м/мин	0,7
Длина ленты, мм	4500
Ширина ленты, мм	1200
Давление газа в сети, мм вод. ст.	70 - 250
Расход газа на одну горелку, м ³ /ч	0,56 – 1,06
Число горелок ГК-274-1	24
Вид топлива	Природный газ
Высота установки горелок над слоем осадка, мм	100 - 200

Пример 6.1. Подобрать камеры дегельментизации для обезвоженного осадка в центрифугах. Расход кека за сутки $Q = 33,5 \text{ м}^3$. Производительность камеры дегельментизации по осадку $q_1 = 0,5 \text{ м}^3/\text{ч}$.

1. Часовая производительность по кеку, м³/ч,

$$q_c = \frac{Q}{T} = \frac{33,5}{24} = 1,4.$$

2. Число камер дегельментизации

$$N = \frac{q_c}{q_1} = \frac{1,4}{0,5} = 3.$$

Для дегельментизации обезвоженного осадка в центрифугах устанавливаются три камеры типа КДГМ.

6.2. Термическая сушка осадков

Термическая сушка предназначена для обеззараживания и снижения массы и объема осадков сточных вод, предварительно обезвоженных в вакуум-фильтрах, фильтр-прессах или центрифугах. Ее применение обеспечивает возможность эффективного удаления осадков с территории очистных станций и дальнейшей их утилизации. Осадок после термической сушки представляет собой незагнивающий, свободный от гельминтов и патогенных микроорганизмов сыпучий материал влажностью 30-40 %.

В отечественной практике для термической сушки обезвоженных осадков применяются барабанные сушилки диаметром 1-3,5 м и длиной 4-27 м, сушилки со встречными струями, сушилки с псевдооживленным слоем и вакуум-сушилки. Последние рекомендуются для обработки осадков, образующихся на станциях биологической очистки сточных вод с пропускной способностью Q_w до 50 тыс.м³/сут [9]. Для термической сушки осадков городских сточных вод на станциях пропускной способностью более 30 тыс.м³/сут используют сушилки со встречными струями (СВС) пропускной способностью по испаряемой влаге $Q_l = 3,5-5$ и 10 т/ч [8].

Таблица 6.2

Техническая характеристика СВС-3,5/5

Пропускная способность, кг/ч:	
по абсолютно сухому веществу	1250-1900
по испаряемой влаге	3500-5000
Температура сушильного агента, °С:	
начальная	600-800
конечная	100-150
Давление воздуха перед соплом, МПа	0,01-0,03
Напряжение объема сушилки по испаряемой влаге, 15 кг/(м ² ч)	600-1200
Удельный расход на 1 кг испаряемой влаги:	
тепла, МДж	3,4-3,8
условного топлива, кг	0,114-0,228
сухого воздуха, кг	4-6
электроэнергии, кВт ч	0,05-0,08
Влажность осадков, %:	
до сушки	60-85
после сушки	20-50
Габариты, м:	
длина	18
ширина	7,8
высота	11,3

Пример 6.2. Подобрать сушилки со встречными струями для обезвоженного осадка на вакуум-фильтрах. Расход кека $Q_c = 148,6$ м³/сут.

1. Требуемая пропускная способность по сухому веществу, кг/ч,

$$Q_m = \frac{Q_c \cdot (100 - P_c) \cdot \rho}{100 \cdot T} = \frac{148,6 \cdot (100 - 80) \cdot 1000}{100 \cdot 24} = 1238,$$

$T = 24 \text{ ч}, \rho = 1000 \text{ кг/м}^3$.

2. Пропускная способность испаряемой влаги, кг/ч,

$$Q_l = Q_c - Q_m = \frac{148,6 \cdot 1000}{24} - 1238 = 4953.$$

По табл. 6.2 к установке предусматривается одна сушилка СВС-3,5/5.

6.3. Сжигание осадков

Сжигание – процесс окисления органической части осадков при повышенной температуре до нетоксичных газов (двуокись углерода, азот, водяные пары) и выделения минеральной части в виде расплава или сухого порошка (золы). Осадки городских сточных вод целесообразно сжигать после их механического обезвоживания либо термической сушки в тех случаях, когда они не могут быть утилизированы в сельском хозяйстве в качестве органического удобрения [10]. Сжигание наиболее полно удовлетворяет требованиям защиты окружающей среды, поскольку в 80-100 раз сокращает объем осадка и при этом достигается его полное обеззараживание [11].

В настоящее время для сжигания осадков распространение получили печи кипящего слоя (КС), многоподовые и вращающиеся барабанные печи. Большие габариты, высокая строительная стоимость, сложность эксплуатации ограничивают область применения многоподовых и вращающихся барабанных печей (табл. 6.3).

Печи с кипящим слоем обеспечивают высокую эффективность процесса, отличаются компактностью, простотой эксплуатации и возможностью полной автоматизации процесса (рис.6.2).

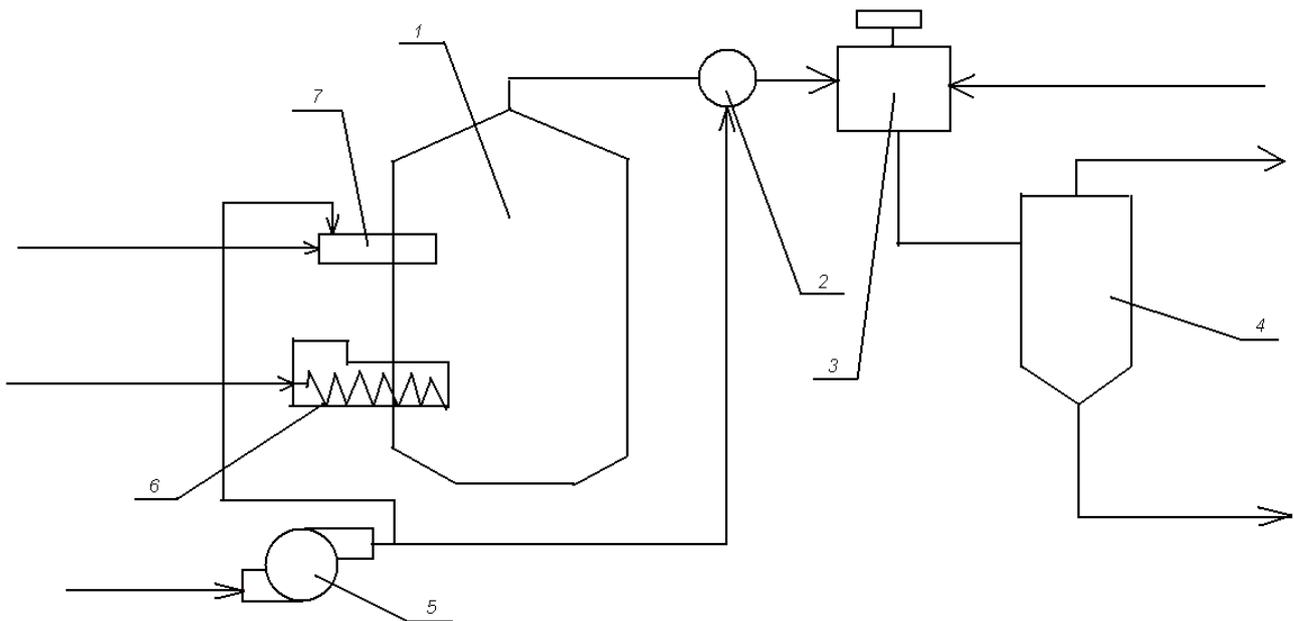


Рис. 6.2. Схема установки для сжигания осадков в кипящем слое:

1 – печь с кипящим слоем; 2 – теплообменник; 3 – мокрый скруббер; 4 – гидроциклон; 5 – вентилятор; 6 – шнековый питатель; 7 – пусковая форсунка

Таблица 6.3

Техническая характеристика печей КС

Температура воздуха и газов, °С:	
на входе в печь	600-700
в кипящем слое	650-750
в топочной камере над кипящим слоем	900-1000
Нагрузка по испаряемой влаге на 1 м ³ объема печи, кг/ч	60-100
Унос золы с отходящими газами, %	80-100
Рабочая скорость воздуха, отнесенная к площади решетки, м/с:	1,2-2
Удельные расходы на 1 кг испаряемой влаги:	
тепла, МДж	4-4,6
электроэнергии, кВт/ч	0,04-0,05

Пример 6.3. Подобрать печи кипящего слоя для механически обезвоженного осадка на фильтр-прессах. Расход кека составляет $Q_c = 8,23 \text{ м}^3/\text{сут.}$

1. Количество абсолютно сухого вещества

$$Q_m = \frac{Q_c \cdot (100 - P_c) \cdot \rho}{100} = \frac{8,23 \cdot (100 - 65) \cdot 1}{100} = 2,88 \text{ т/сут.} = 120,0 \text{ кг/ч.}$$

2. Количество влаги, подлежащей испарению

$$Q_l = Q_c - Q_m = 8,23 - 2,88 = 5,35 \text{ т/сут.} = 222,9 \text{ кг/ч.}$$

3. Требуемый объем печи, м³,

$$N = \frac{Q_l}{q} = \frac{222,9}{80} \approx 3,$$

значение q принимаем по табл. 6.3; $q = 80 \text{ кг/ч.}$

К установке принимаем три печи кипящего слоя с рабочим объемом не менее 3 м³.

Глава 7. РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ

Биологические методы очистки сточных вод основываются на естественных процессах развития микроорганизмов, в том числе:

- потреблять в качестве питания органические соединения в виде источника энергии для собственного функционирования;
- размножаться так быстро, что через каждые 30 минут их число удваивается, но при этом размножение протекает в рамках природного экологического равновесия;
- образовывать колонии и скопления, которые легко отделяются от воды после использования в качестве питания загрязнений этой воды.

Таким образом, при биологической очистке значительная часть загрязнений, содержащихся в сточных водах, трансформируется в биологическую массу – активный ил. С течением времени содержание органических веществ в очищаемой воде достигает ниже некоторого уровня, после которого жизнедеятельность микроорганизмов продолжается, но уже либо за счет накопленных питательных веществ, либо за счет их собственной массы. Такая микробиальная масса после введения в контакт с питательной средой восстанавливает свою прежнюю активность, но со значительной задержкой по сравнению с биомассой, не достигшей критического уровня.

Биологическая очистка может происходить как в естественных условиях, так и в искусственных условиях. Сооружения, в которых протекает естественный процесс биологической очистки, представлены полями подземной фильтрации, земельными полями орошения. Применение этих сооружений хотя и имеет место в практике, но все чаще ограничивается как санитарно-эпидемиологическими требованиями, так и повышающей стоимостью земельных площадей. Поэтому на арену все чаще стали выступать сооружения биологической очистки в искусственных условиях. К ним относятся аэротенки различных модификаций и биофильтры с различной загрузкой.

7.1. Аэротенки-вытеснители без регенерации

Аэротенки, в которых очищаемая сточная вода с содержанием органических веществ, оцениваемых БПК_{полн}, т.е. $L_{en} < 150$ мг/л, совместно с активным илом поступает в один торец сооружения, а затем поступательно вытесняется вновь поступающими порциями, называются аэротенками-вытеснителями без регенерации (рис. 7.1).

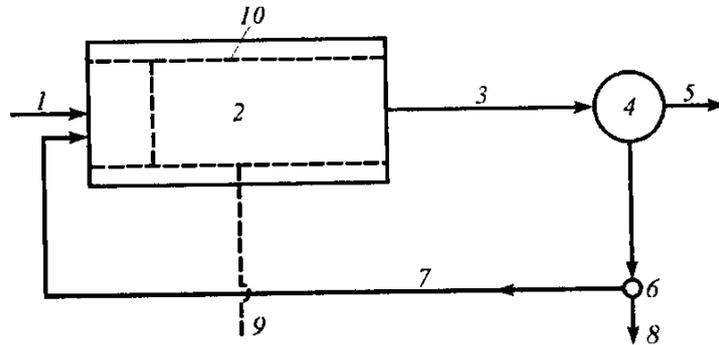


Рис. 7.1. Схема аэротенка-вытеснителя без регенерации:

1 – сточная вода после первичных отстойников; 2 – аэротенк; 3 – иловая смеси из аэротенков; 4 – вторичный отстойник; 5 – очищенная вода; 6 – иловая камера; 7, 8 – циркуляционный и избыточный активный ил соответственно; 9 – воздух из воздуходувок; 10 – аэрационная система

Расчет сводится к определению необходимого времени окисления, требуемого объема аэротенков, числа секции, выбора типовых аэротенков и вычислению необходимого количества воздуха для подачи в аэротенк, а также подбору типовых воздуходувок.

Пример 7.1. Произвести расчет биологической очистки в аэротенках при следующих исходных данных:

- расход сточных вод – 60 тыс.м³/сут;
- концентрация БПК_{полн} (L_{en}) в исходной воде – 140 мг/л;
- температура сточной воды – 14 °С;
- концентрация БПК_{полн} (L_{ex}) в очищенной воде – 15 мг/л.

1. Период аэрации t_{ato} , ч,

$$t_{ato} = \frac{1 + \varphi a_i}{\rho_{max} C_0 a_i (1 - S)} \left[(C_0 + K_0)(L_{mix} - L_{ex}) + K_i C_0 \ln \frac{L_{en}}{L_{ex}} \right] K_p,$$

где φ - коэффициент ингибирования продуктами распада активного ила, л/г, принимаемый по табл 7.1.

Для городских сточных вод $\varphi = 0,07$;

a_i – доза ила, г/л, определяемая технико-экономическим расчетом с учетом работы вторичных отстойников, $a_i = 1,4$;

ρ_{max} – максимальная скорость окисления, мг/(г·ч), принимаемая по табл. 7.1,

$\rho_{max} = 85$;

C_0 – концентрация растворенного кислорода, мг/л; в первом приближении C_0 допускается принимать 2 мг/л;
 S – зольность ила, принимаемая по табл. 7.1, $S = 0,3$;
 K_0 – константа, характеризующая влияние кислорода, мг O_2 /л, $K_0 = 0,625$.

Таблица 7.1

Основные показатели биологического окисления для городских сточных вод

Коэффициент	P_{\max} , мг БПК _{полн} /Г·ч	K_b , мг ПК _{полн} /л	K_0 , мг O_2 /л	φ , л/Г	S
Значение	85	33	0,625	0,07	0,3

L_{mix} – БПК_{полн}, определяемая с учетом разбавления рециркуляционным расходом, мг/л,

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

где R_i – степень рециркуляции активного ила, в аэротенке рассчитываемая по формуле

$$R_i = \frac{a_i}{1000/J_i - a_i},$$

где J_i – иловый индекс, см³/ч, $J_i = 80 \dots 120$.

При $J_i = 120$, $R_i = \frac{1,4}{1000/120 - 1,4} = 0,2$

$$L_{mix} = \frac{140 + 15 \cdot 0,2}{1 + 0,2} = \frac{170}{1,2} = 119,2;$$

K_i – константа, характеризующая свойства органических загрязняющих веществ, мг БПК_{полн}/л, $K_i = 33$;

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

$$t_{avo} = \frac{1 + 0,07 \cdot 1,4}{85 \cdot 2 \cdot 1,4(1 - 0,3)} \left[(2,0 + 0,625)(141,7 - 15) + 33 \cdot 21 \ln \frac{119,2}{15} \right] 15 = 4,68.$$

2. Требуемый объем, м³, аэротенка

$$W_{av} = q_w^* \cdot t_{av},$$

q_w^* – среднечасовой расход сточных вод за период в часы максимального притока:

$$q_w = \frac{Q_w}{24} = \frac{60000}{24} = 2500 \text{ м}^3/\text{ч},$$

$$W_{av} = 2500 \cdot 4,68 = 11700.$$

3. При числе секций $n_s = 4$ требуемый объем, м³, одной секции составит

$$W'_{avr} = \frac{W_{avr}}{n_s} = \frac{11700}{4} = 2925.$$

4. По табл. 27.7 [9] принимаем ближайший больший типовой аэротенк номер 902-2-192 с размерами:

- ширина коридора B_c , м, – 4,5;
- рабочая глубина аэротенка H_{at} , м, – 4,4;
- число коридоров n_c – 3;
- длина секции L , м, – 54.

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

$$q_{air} = \frac{q_0(L_{en} - L_{ex})}{K_1 K_2 K_T K_3 (C_a - C_0)},$$

где q_0 - удельный расход кислорода воздуха, мг на 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 по табл. 7.2, $K_1 = 1,47$;

K_2 – коэффициент, зависящий от глубины погружения аэраторов h_a и принимаемый по табл. 7.3, $K_2 = 2,52$;

Таблица 7.2

Значения коэффициента K_1 мелкопузырчатой аэрации в зависимости от соотношения площадей аэрируемой зоны и аэротенка f_{az} / f_{at}

f_{az} / f_{at}	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1,0
K_1	1,34	1,74	1,68	1,89	1,94	2,0	2,13	2,30
$J_{a,max}$, м ³ /(м ² ·ч)	5	10	20	30	40	50	75	100

Таблица 7.3

Значения коэффициента K_2 в зависимости от глубины погружения аэратора h_a

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

K_T – коэффициент, учитывающий температуру сточных вод, определяемый по формуле

$$K_T = 1 + 0,02(T_w - 20); \quad K_T = 0,02(14 - 20) = 0,88;$$

K_3 – коэффициент качества воды, для городских сточных вод $K_3 = 0,85$;

C_a – растворимость кислорода воздуха в воде определяется по формуле, мг/л,

$$C_a = \left(1 + \frac{h_a}{20,6}\right) \cdot C_T;$$

C_T – растворимость кислорода в воде в зависимости от температуры и атмосферного давления, принимаемый по табл. 7.4; $C_T = 10,37$ мг/л;

$$C_a = \left(1 + \frac{4,4}{20,6}\right) \cdot 10,37 = 12,58,$$

C_o – средняя концентрация кислорода в аэротенке, мг/л; в первом приближении C_o допускается принимать 2 мг/л;

$$q_{air} = \frac{1,1(140 - 15)}{1,47 \cdot 2,52 \cdot 0,88 \cdot 0,85(12,58 - 2,0)} = 4,7.$$

Таблица 7.4

Растворимость кислорода в 1 л воды при давлении 0,1 МПа

$t, ^\circ C$	$O_2, \text{ мг}$	$t, ^\circ C$	$O_2, \text{ мг}$	$t, ^\circ C$	$O_2, \text{ мг}$
1	14,23	11	11,08	21	8,89
2	13,84	12	10,83	22	8,83
3	13,48	13	10,60	23	8,68
4	13,13	14	10,37	24	8,53
5	12,80	15	10,15	25	8,38
6	12,48	16	9,95	26	8,22
7	12,17	17	9,74	27	8,07
8	11,87	18	9,64	28	7,92
9	11,59	19	9,35	29	7,77
10	11,33	20	9,17	30	7,63

6. Интенсивность аэрации, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$,

$$J_a = \frac{q_{air} \cdot H_{at}}{t_{at}},$$

$$J_a = \frac{4,7 \cdot 4,4}{4,68} = 4,5,$$

$$J_{\min} < J_a < J_{\max}.$$

При $K_2 = 2,52$, $J_{\min} = 3,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$;

При $K_1 = 1,47$, $J_{\max} = 10 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Получаем $3,5 < 4,5 < 10$, что соответствует требованиям табл. 7.2 и 7.3.

7. Требуемый расход воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$,

$$Q_{air} = q_{air} \cdot q_w = 4,7 \cdot 2500 = 11750.$$

По табл. 7.5 подбираем две типовые турбовоздуходувки марки ТВ-80-1,6 с объемом всасывающего воздуха $6000 \text{ м}^3/\text{ч}$ каждая, принимаем также одну резервную машину.

Таблица 7.5

Технические данные турбовоздуходувок

Марка	Объем	Давление	Часто-	$\geq \circ \equiv$	Габариты агрегата,	Масса, кг
-------	-------	----------	--------	---------------------	--------------------	-----------

машины	засасываемого воздуха	нагнетания		та вращения, об/мин		М			машины	электродвигателя	наиболее тяжелой части
		аПа	МПа			длина	ширина	высота			
ТВ-42-1,4	3600	1,4	0,14	2940	55	2,52	1,55	1,48	3470	355	1200
ТВ-50-1,6	3600	1,6	0,16	2960	100	2,63	1,55	1,58	4445	635	1400
ТВ-80-1,4	6000	1,42	0,142	2960	100	2,75	1,55	1,48	3860	430	1200
ТВ-80-1,6	6000	1,63	0,163	2970	160	2,85	1,55	1,48	4440	730	1400
ТВ-80-1,8	6000	1,77	0,177	2965	200	3,06	1,55	1,58	5545	825	1800
ТВ-175-1,6	10000	1,63	0,163	2970	320	3,32	1,68	1,63	5190	1780	1500
ТВ-300-1,6	18000	1,6	0,16	2970	400	3,63	1,9	1,74	6860	2080	2300

7.2. Аэротенки-вытеснители с регенерацией

При содержании загрязняющих веществ по $BPK_{полн} > 150$ мг/л возникает необходимость регенерации, т.е. восстановления окислительной способности активного ила, выделяемого во вторичных отстойниках. Регенерацию активного ила чаще всего проводят в отдельных коридорах аэротенка, например, в одном из коридоров трехкоридорного аэротенка-вытеснителя (рис. 7.2).

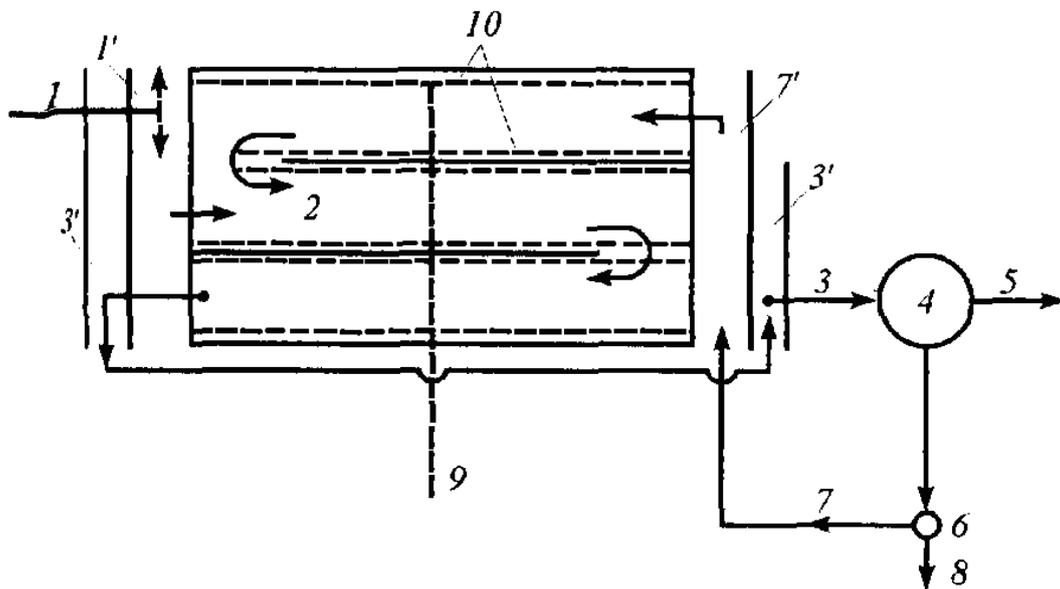


Рис. 7.2. Трехкоридорный аэротенк-вытеснитель:

1 – сточная вода после первичного отстойника; 2 – аэротенк; 3 – иловая смесь; 4 – вторичный отстойник; 5 – очищенная вода; 6 – иловая камера; 7, 8 – соответственно циркуляционный и избыточный активный ил; 9 – воздух из воздуходувок; 10 – аэрационная система для подачи и распределения воздуха в аэротенке; 11 – канал сточной воды; 12 – канал циркуляционного активного ила; 13 – канал иловой смеси

Пример 7.2. Произвести расчет биологической очистки в аэротенках при следующих исходных данных:

- расход сточных вод – $60000 \text{ м}^3/\text{сут}$;
- концентрация $BPK_{полн}$ (L_{en}) в исходной воде – 170 мг/л ;

- температура сточной воды – 14 °С;

- концентрация БПК_{полн} (L_{ex}) в очищенной воде – 15 мг/л.

Расчет сводится к определению необходимого времени (продолжительности) окисления органических загрязняющих веществ, продолжительности обработки воды в аэротенке, продолжительности регенерации, вместимости аэротенка, вместимости регенератора и выбору типовых аэротенков, расчету и подбору типовых воздуходувок (обозначения см. в примере 7.1).

1. Доза ила в регенераторе, г/л,

$$a_r = a_i \left(\frac{1}{2R_i} + 1 \right) = 1,7 \left(\frac{1}{2 \cdot 0,27} + 1 \right) = 4,85,$$

$$R_i = \frac{a_i}{1000/J_i - a_i} = \frac{1,7}{1000/120 - 1,7} = 0,27.$$

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

2. Удельная скорость окисления, мг БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества ила в 1 ч:

$$\rho = \rho_{\max} \frac{L_{ex} C_0}{L_{ex} C_0 + K_i C_0 + K_0 L_{ex}} \cdot \frac{1}{1 + \varphi a},$$
$$\rho = 85 \frac{15 \cdot 2}{15 \cdot 2 + 33 \cdot 2 + 0,625 \cdot 2} \cdot \frac{1}{1 + 0,07 \cdot 4,85} = 19,57.$$

3. БПК_{полн}, определяемое с учетом разбавления рециркуляционным расходом, мг/л:

$$L_{mix} = \frac{L_{en} + L_{ex}(R_i)}{1 + R_i} = \frac{170 + 15 \cdot 0,27}{1 + 0,27} = 137,05.$$

4. Продолжительность окисления органических загрязняющих веществ t , ч,

$$t_0 = \frac{L_{en} - L_{ex}}{R_i a_r (1 - S) \rho} = \frac{170 - 15}{0,27 \cdot 4,85 (1 - 0,3) \cdot 19,57} = 8,64.$$

5. Продолжительность обработки воды в аэротенке t_{at} , ч,

$$t_{at} = \frac{2,5}{\sqrt{a_i}} \lg \frac{L_{mix}}{L_{ex}} = \frac{2,5}{\sqrt{1,7}} \lg \frac{137,05}{15} = 1,85.$$

Продолжительность аэрации во всех случаях не должна быть менее 2 ч.

6. Продолжительность регенерации, ч,

$$t_r = t_0 - t_{at} = 8,64 - 2,0 = 6,64.$$

7. Вместимость аэротенка, м³,

$$W_{at} = t_{at} (1 + R_i) q_{wi} = 2,0 (1 + 0,27) \cdot 2500 = 6350.$$

8. Вместимость регенераторов, м³,

$$W_r = t_r \cdot R_L \cdot q_{wi} = 6,64 \cdot 0,27 \cdot 2500 = 4482.$$

9. Общая вместимость аэротенка, совмещенного с регенератором, м³,

$$W_{air} = W_{at} + W_r = 6350 + 4482 = 10832.$$

10. Число коридоров в аэротенке

$$n_c = \frac{W_{air}}{W_r} = \frac{10832}{4482} = 2,4.$$

Принимаем число коридоров $n_c = 3$.

11. При числе секций $n_s = 4$ требуемая вместимость, m^3 , одного сооружения должна быть не менее

$$W'_{air} = \frac{W_{air}}{n_s} = \frac{10832}{4} = 2708.$$

12. По табл. 27.7 [9] принимаем ближайший больший типовой аэротенк номер 902-2-192 с размерами:

- ширина коридора B_c , м, – 4,5;
- рабочая глубина аэротенка H_{at} , м, – 4,4;
- число коридоров $n_c = 3$;
- длина секции – 48.

13. Удельный расход воздуха q_{air} , m^3/m^3 очищаемой воды при пневматической системе аэрации

$$q_{air} = \frac{q_0(L_{en} - L_{ex})}{K_1 K_2 K_T K_3 (C_a - C_0)} = \frac{1,1(170 - 15)}{1,47 \cdot 2,52 \cdot 0,85 \cdot 0,85(12,58 - 2,0)} = 5,8,$$

где $q_0 = 1,1$ (см. пример 7.1);

$$K_1 = 1,47 \text{ [1, табл. 7.2];}$$

$$K_2 = 2,52 \text{ [1, табл. 7.3];}$$

$$K_T = 1 + 0,02(T_w - 20) = 1 + 0,02(14 - 20) = 0,88;$$

$$K_3 = 0,85;$$

$$C_a = \left(1 + \frac{h_a}{20,6}\right) C_T = \left(1 + \frac{4,4}{20,0}\right) \cdot 10,37 = 12,58,$$

$$C_T = 10,37 \text{ (табл. 7.4);}$$

$$C_0 = 2 \text{ мг/л.}$$

14. Интенсивность аэрации, $m^3/(m^3 \cdot ч)$,

$$J_a = \frac{q_{air} H_{at}}{t_0} = \frac{5,8 \cdot 4,4}{8,64} = 2,95;$$

$$J_{min} < J_a < J_{max};$$

$$J_{min} = 3,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}) \text{ (табл. 7.3);}$$

$$J_{max} = 10 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}) \text{ (табл. 7.2).}$$

Получаем $3,5 \leq 2,9 < 10$.

Если вычисленная интенсивность аэрации менее $J_{a,min}$ для принятого значения K_2 следует увеличить расход воздуха, приняв $J_{a,min}$ по табл. 7.3. Следовательно, принимаем $K'_2 = 2,08$ и производим перерасчет:

13' Удельный расход воздуха q'_{air} , m^3/m^3 ,

$$q'_{air} = \frac{1,1(170 - 15)}{1,47 \cdot 2,08 \cdot 0,88 \cdot 0,85(12,58 - 2,0)} = 7,04.$$

14' Интенсивность аэрации, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$,

$$J'_a = \frac{q'_{air} H_{at}}{t_0} = \frac{7,04 \cdot 4,4}{8,64} = 3,6.$$

Получаем $3,5 < 3,6 < 10$, что соответствует рекомендациям [1].

15. Требуемый расход воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$,

$$Q_{air} = q'_{air} \cdot q_w = 7,04 \cdot 2500 = 17600.$$

По табл. 7.5 подбираем две типовые турбовоздуходувки марки ТВ-175-1,6 с объемом всасывающего воздуха $10000 \text{ м}^3/\text{ч}$ каждая, принимаем также одну резервную машину.

7.3. Аэротенки-смесители без регенерации

Аэротенки-смесители сглаживают залповые или шокковые нагрузки на активный ил, которые могут быть при работе аэротенка в режиме вытеснителя, в случае высоких концентраций загрязнений или наличия токсичных веществ в поступающей на очистку сточной воде. Возможность исключения проскока достигается равномерным распределением поступающих в аэротенк жидкости и ила, а также интенсивным перемешиванием всего содержимого аэротенка и равномерным отводом иловой смеси из него (рис. 7.3).

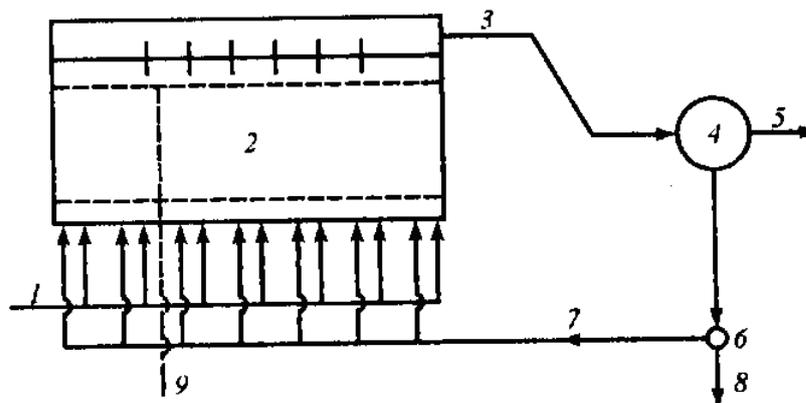


Рис. 7.3. Схема работы аэротенка-смесителя:

1 – сточная вода; 2 – аэротенк-смеситель; 3 – иловая смесь; 4 – вторичный отстойник; 5 – очищенная вода; 6 – иловая камера; 7 – циркуляционный ил; 8 – избыточный ил; 9 – воздух из воздуходувки; 10 – аэрационная система

Аэротенки-смесители могут работать как без регенерации активного ила, так и с регенерацией его.

Пример 7.3. Произвести расчет биологической очистки в аэротенках-смесителях при следующих исходных данных:

- расход сточных вод – $60000 \text{ м}^3/\text{сут}$;
- концентрация БПК_{полн} (L_{en}) в исходной воде – 145 мг/л ;
- концентрация БПК_{полн} (L_{ex}) в очищенной воде – 15 мг/л ;
- средняя температура сточных вод за летний период t_n – $17 \text{ }^\circ\text{C}$.

При $L_{en} < 150$ мг/л принимаем аэротенк-смеситель без регенерации.

1. Удельная скорость окисления, мг/(г·ч),

$$\rho = \rho_{\max} \frac{L_{ex} \cdot C_0}{L_{ex} \cdot C_0 + K_l \cdot C_0 + K_0 L_{ex}} \cdot \frac{1}{(1 + \varphi a_i)} = 85 \frac{15 \cdot 2}{15 \cdot 2 + 33 \cdot 2 + 0,625 \cdot 15} \cdot \frac{1}{(1 + 0,07 \cdot 3)} = 20,0,$$

$$\rho_{\max} = 85 \text{ мг/(г·ч) (табл. 7.1);}$$

$$C_0 = 2 \text{ мг/л;}$$

$$K_l = 33 \text{ мг/л (табл. 7.1);}$$

$$K_0 = 0,625 \text{ мг/л (табл. 7.1);}$$

$$\varphi = 0,07 \text{ л/г (табл. 7.1).}$$

2. Продолжительность аэрации, ч,

$$t_{mix} = \frac{L_{en} - L_{ex}}{a_i(1 - S) \cdot \rho} = \frac{145 - 15}{3(1 - 0,3) \cdot 20} = 3,1,$$

$$S = 0,3 \text{ (табл. 7.1).}$$

2. Объем аэротенка-смесителя, м³,

$$W_{mix} = q_w \cdot t_{mix} = 2500 \cdot 3,1 = 7750.$$

4. При числе секции $n_s = 3$ требуемый объем одной секции составит, м³,

$$W'_{mix} = \frac{W_{mix}}{n_s} = \frac{7750}{3} = 2583,3.$$

По табл. 7.6 находим ближайший больший аэротенк-смеситель (номер проекта 902-2268) с размерами:

- ширина коридора B_c , м, – 6;
- рабочая глубина H , м, – 5;
- число коридоров n_c – 3;
- рабочий объем смесителя, м³, – 3780;
- длина секции, м, – 42.

5. Удельный расход воздуха, м³/м³,

$$q_{air} = \frac{q_0(L_{en} - L_{ex})}{K_1 \cdot K_2 K_T \cdot K_3 (C_a - C_0)} = \frac{1,1(145 - 15)}{1,47 \cdot 2,92 \cdot 0,94 \cdot 0,85(12,1 - 2)} = 4,1,$$

$$q_0 = 1,1 \text{ мг/мг;}$$

$$K_1 = 1,47;$$

$$K_2 = 2,92;$$

$$K_T = 1 + 0,02(T_w - 20) = 0,94;$$

$$C_a = \left(1 + \frac{h_a}{20,6}\right) \cdot C_T = \left(1 + \frac{5}{20,6}\right) \cdot 9,74 = 12,1;$$

$$C_0 = 2 \text{ мг/л;}$$

$$K_3 = 0,85.$$

6. Интенсивность аэрации, м³/(м²·ч),

$$J_a = \frac{q_{air} \cdot H_{at}}{t_{mix}} = \frac{4,1 \cdot 5}{3,1} = 6,6,$$

$$J_{\min} < J_a < J_{\max},$$

$$3 < 6,6 < 10.$$

Как видно, вычисленная интенсивность аэрации J_a менее J_{max} для принятого значения K_1 и более J_{min} для принятого значения K_2 , следовательно, пересчета интенсивности аэрации не требуется.

7. Общий расход воздуха, м³/ч,

$$Q_{air} = q_w \cdot q_{air} = 2500 \cdot 4,1 = 10250.$$

По табл. 7.5 подбираем две типовые турбовоздуходувки марки ТВ-80-1,4 с объемом засасываемого воздуха 6000 м³/ч каждая. Принимаем также одну резервную машину.

Таблица 7.6

Основные параметры типовых аэротенков-смесителей

Ширина коридора, м	Рабочая глубина, м	Число коридоров	Рабочий объем секции, м ³	Длина секции, м	Номер типового проекта
3	1,2	2	170	24	902-2-94
			260	36	902-2-95/96
4	4,5	2	864	24	902-2-215/216
			1296	36	902-2-217/218
6	5	3	3780	42	902-2-268
			5400	60	902-2-269
			7560	83	902-2-211
9	5,2	4	21680	120	902-2-120/72
			28080	150	902-2-264

7.4. Аэротенки-смесители с регенерацией

Принимаются при концентрации $L_{en} > 150$ мг/л.

Пример 7.4. Произвести расчет биологической очистки в аэротенках-смесителях при следующих исходных данных:

- расход сточных вод – 60000 м³/сут;
- концентрация БПК_{полн} (L_{en}) в сточной воде – 260 мг/л;
- температура сточной воды – 14 °С;
- концентрация БПК_{полн} (L_{ex}) в очищенной воде – 15 мг/л.

Для городских сточных вод из (табл. 7.1) принимаем $\rho_{max} = 85$ мг/(г·ч); $K_l = 33$ мг/л; $K_0 = 0,625$ мг/л; $\varphi = 0,07$ л/г; $S = 0,3$. Из литературных данных принимаем среднюю дозу активного ила 4,0 г/л, коэффициент регенерации $K = 0,80$, иловый индекс $J = 120$ см³/г (обозначения см. в примере 7.1).

1. Степень рециркуляции активного ила

$$R = \frac{4,0}{1000/120 - 4,0} = 0,93.$$

2. Скорость окисления, мг/(г·ч), при концентрации кислорода в аэротенке $C_0 = 2$ мг/л:

$$\rho = \rho_{\max} \frac{L_{ex} \cdot C_0}{L_{ex} \cdot C_0 + K_l \cdot C_0 + K_0 \cdot L_{ex}} \cdot \left(\frac{1}{1 + \varphi \alpha_i} \right) = 85 \frac{15 \cdot 2}{15 \cdot 2 + 33 \cdot 2 + 0,625 \cdot 15} \cdot \frac{1}{1 + 0,07 \cdot 4,0} = 18,9.$$

3. Продолжительность аэрации, ч,

$$t_{mix} = \frac{L_{en} - L_{ex}}{a_i(1-S)\rho} = \frac{260 - 15}{4(1-0,3) \cdot 18,9} = 4,6.$$

4. Общий объем аэротенка-смесителя и регенератора, м³,

$$W_{mix} = q_w \cdot t_{mix} = \frac{60000}{24} \cdot 4,6 = 11500.$$

5. Объем аэротенка, м³:

$$W_a = \frac{W_{mix}}{1 + K/(1-K)} = \frac{11500}{1 + 0,4/(1-0,4)} = \frac{11500}{1,66} = 7000$$

K – коэффициент регенерации активного ила, $K = 0,3 \div 0,5$.

6. Объем регенератора, м³:

$$W_r = W_{mix} - W_a = 11500 - 7000 = 4500.$$

7. Фактическая нагрузка на 1 г беззольного вещества ила, мг/(г·сут):

$$q_u = \frac{24(L_{en} - L_{ex})}{a_i(1-S)t_{mix}} = \frac{24(260 - 15)}{4(1-0,3) \cdot 4,6} = 456,5.$$

По таблице 7.7 уточняем фактический иловый индекс $J = 88$ см³/г.

Таблица 7.7

Зависимость илового индекса от нагрузки на ил для городских сточных вод

Показатель	Нагрузка на ил; мг/(г·сут)					
	100	200	300	400	500	600
Иловый индекс; см ³ /г	130	100	70	80	95	130

8. Фактическое значение степени регенерации

$$R_f = \frac{4,0}{1000/88 - 4,0} = 0,54.$$

9. Фактическая средняя доза в аэротенке-смесителе, г/л:

$$a_i^f = \frac{W_{mix} \cdot a_i}{W_a + [1/(2R_f) + 1]W_r} = \frac{11500 \cdot 4,0}{7000 + [1/(2 \cdot 0,54) + 1] \cdot 4500} = 2,87.$$

Фактические значения J , R , a_i находятся в пределах нормы колебаний этих данных.

10. При числе секций $n_s = 2$, объем одной секции составит, м³:

$$W'_s = \frac{W_{mix}}{n_s} = \frac{11500}{2} = 5750.$$

По табл. 7.6 выбираем типовой аэротенк-смеситель 902-2-211 с основными размерами:

- ширина коридора B_c , м – 6;
- рабочая глубина H , м – 5;
- число коридоров n_c – 3;
- рабочий объем секции W'_{mix} , м³ – 7560;
- длина секции L_{mix} , м – 83.

11. Удельный расход воздуха, м³/м³,

$$q_{air} = \frac{q_0(L_{en} - L_{ex})}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_T \cdot K_3(C_a - C_0)} = \frac{1,1(260 - 15)}{1,47 \cdot 2,52 \cdot 0,88 \cdot 0,85(12,58 - 2,0)} = 9,2.$$

Согласно примеру 7.1 имеем

$q_0 = 1,1$; $K_1 = 1,47$; $K_2 = 2,52$; $K_T = 0,88$; $K_3 = 0,85$; $C_a = 12,58$; $C_T = 10,37$; $C_0 = 2$ мг/л.

12. Интенсивность аэрации, м³/(м²·ч),

$$J_a = \frac{q_{air} \cdot H_{cet}}{t_{mix}} = \frac{9,2 \cdot 5}{4,6} = 9,99.$$

Следовательно, $3,5 < 9,99 < 10$, что соответствует рекомендациям.

13. Требуемый расход воздуха, м³/ч,

$$Q_{air} = q_{air} \cdot q_w = 9,2 \cdot 2500 = 23000.$$

По табл. 7.5 подбираем четыре типовые турбовоздуходувки марки ТК-175-1,6 с объемом всасываемого воздуха 6000 м³/ч каждая, принимаем также две резервные машины.

7.5. Высоконагружаемые биофильтры без регенерации

Биологический фильтр – сооружение круглое или прямоугольное в плане с фильтрующей загрузкой от 1 до 4 м, на поверхности которой образуется биопленка (совокупность микроорганизмов), способствующая окислению загрязняющих веществ сточной воды, скользящей по поверхности этой пленки. Большинство микроорганизмов аэробные, поэтому в тело биофильтра подается воздух естественным или искусственным путем. Конструкция биофильтра предусматривает наличие:

- загрузки биофильтра;
- водораспределительного устройства, обеспечивающего равномерное орошение сточной водой поверхности загрузки биофильтра;
- дренажного устройства для удаления профильтрованной воды;
- воздухораспределительного устройства, с помощью которого поступает необходимый для окислительного процесса воздух (рис. 7.4).

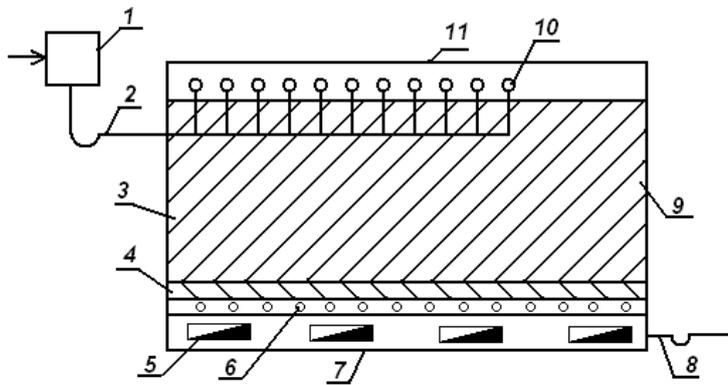


Рис. 7.4. Биофильтр:

- 1 – бак-дозатор;
- 2 – водораспределительное устройство;
- 3 – корпус;
- 4 – подстиляющий слой;
- 5 – окна вентиляции;
- 6 – дренажное устройство;
- 7 – сплошное днище;
- 8 – отводящий трубопровод;
- 9 – загрузка;
- 10 – спринклеры
- 11 – бортик

В процессе биоокисления образуется омертвевшая биопленка, которая смывается поступающей водой и выносится из тела биофильтра. Все биофильтры классифицируются по следующим признакам:

- по пропускной способности – на капельные и высоконагружаемые;
- по способу подачи воздуха – на биофильтры с естественной и искусственной вентиляцией загрузки;
- по загрузочному материалу – на биофильтры с объемной и плоскостной загрузкой;
- по степени очистки – на биофильтры с полной и неполной очисткой;
- по режиму работы – на биофильтры с рециркуляцией и без нее;
- по числу ступеней очистки – на одноступенчатые и двухступенчатые;
- по высоте загрузки – на биофильтры капельные до 2 м, высоконагружаемые до 4 м и башенные до 8-16 м.

Наиболее широкое применение нашли высоконагружаемые биофильтры (аэрофильтры) при расходах сточных вод до 50 тыс. м³/сут, в то время как капельные биофильтры – до 1000 м³сут.

В зависимости от концентрации БПК_{полн} в исходной сточной воде, поступающей на биофильтры, последние могут работать без рециркуляции ($L_{en} \leq 300$ мг/л) и с ней ($L_{en} > 300$ мг/л).

Расчет биофильтров базируется на данных табл. 7.8.

Таблица 7.8

Взаимосвязь показателей аэрофильтра рабочей высоты H_{af} , гидравлической нагрузки q_{af} , удельного расхода воздуха q_a с коэффициентом $K_{af} = L_{in}/L_{ex}$

$q_a, \text{ м}^3/\text{м}^3$	$H_{af}, \text{ м}$	Коэффициент K_{af} при $T_w, \text{ }^\circ\text{C}$, $H_{af}, \text{ м}$, и $q_{af}, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$											
		$T_w = 8$			$T_w = 10$			$T_w = 12$			$T_w = 14$		
		$q_{af} = 10$	$q_{af} = 20$	$q_{af} = 30$	$q_{af} = 10$	$q_{af} = 20$	$q_{af} = 30$	$q_{af} = 10$	$q_{af} = 20$	$q_{af} = 30$	$q_{af} = 10$	$q_{af} = 20$	$q_{af} = 30$
8	2	3,02	2,32	2,04	3,38	2,55	2,18	3,76	2,74	2,36	4,3	3,02	2,56
	3	5,25	3,53	2,89	6,2	3,96	3,22	7,32	4,64	3,62	8,95	5,25	4,09
	4	9,05	5,37	4,14	10,4	6,25	4,73	11,2	7,54	5,56	12,1	9,05	6,54
10	2	3,69	2,89	2,58	4,08	3,11	2,76	4,5	3,36	2,93	5,09	3,67	3,16
	3	6,1	4,24	3,56	7,08	4,74	3,94	8,23	5,31	4,36	9,9	6,04	4,84
	4	10,1	6,23	4,9	12,3	7,18	5,68	15,1	8,45	6,88	16,4	10	7,42
12	2	4,32	3,88	3,01	4,76	3,72	3,28	5,31	3,98	3,44	5,97	4,31	3,7
	3	7,25	5,01	4,18	8,35	5,55	4,78	9,9	6,35	5,14	11,7	7,2	5,72
	4	12	7,35	5,83	14,8	8,5	6,2	18,4	10,4	7,69	23,1	12	8,83

Пример 7.5. Расчет биофильтра без рециркуляции по исходным данным:

- средний расход сточных вод – 40 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$;

- L_{en} – 230 мг/л;

- L_{ex} – 15 мг/л;

- температура сточных вод – 14 $^\circ\text{C}$.

1. Определяем коэффициент k_{af} :

$$k_{af} = \frac{L_{en}}{L_{ex}} = \frac{230}{15} = 15,3.$$

2. По табл. 7.8 находим при температуре сточных вод 14 $^\circ\text{C}$ ближайшее большее значение k_{af} – 16,4.

Этому значению соответствуют: высота $H_{af} = 4$ м; удельный расход воздуха $q_a = 10 \text{ м}^3/\text{м}^3$; гидравлическая нагрузка $q_{af} = 10 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$.

3. Требуемая площадь фильтрования, м^2 ,

$$F_{af} = \frac{Q_w}{q_{af}} = \frac{40000}{10} = 4000.$$

4. При числе рабочих фильтров $n_{af} = 6$ диаметр одного фильтра составит, м,

$$D_{af} = \sqrt{\frac{4F_{af}}{\pi \cdot n_{af}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4000}{3,14 \cdot 6}} = \sqrt{849,3} = 29,15.$$

Принимаем 6 биофильтров диаметром 30 м.

5. Объем загрузки, м^3 ,

$$W = H_{af} \cdot n_{af} \cdot F_{af}' = 4 \cdot 6 \cdot \frac{3,14 \cdot 30^2}{4} = 16956.$$

В качестве загрузки принимаем щебень крупностью 40-70 мм.

6. Требуемое количество воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$,

$$Q_{air} = q_a \cdot \frac{Q_w}{24} = 10 \cdot \frac{40000}{24} = 1666,7.$$

Высоконагружаемые биофильтры работают с искусственной вентиляцией для создания которой применяем 2 рабочих вентилятора и 1 резервный низкого давления марки ЭВР-2 производительностью 200-2000 $\text{м}^3/\text{ч}$, напором 15-70 мм, мощностью электродвигателя 0,25-1,0 кВт (табл. 7.5.1).

Таблица 7.9

Характеристики вентиляторов низкого давления

Марка вентилятора	Производительность, м ³ /ч	Напор, мм	Мощность двигателя, кВт
ЭВР-2	200-2000	15-70	0,25-1
ЭВР-3	400-4000	15-60	1-1,7
ЭВР-4	700-8500	10-100	1,7-7
ЭВР-5	1500-10000	15-80	2,8-7
ЦГ-70 № 2,5	300-2000	10-55	0,27-0,6
ЦГ-70 № 3	400-3800	10-90	0,6-1
ЦГ-70 № 4	600-4500	8-55	0,6-1
ЦГ-70 № 5	1000-8500	8-80	1-1,7
ЦГ-70 № 6	1500-14000	8-110	1,7-4,5
ЦГ-70 № 7	2000-20000	8-120	2,8-10

7.6. Расчет высоконагружаемых биофильтров с рециркуляцией

Биофильтры с рециркуляцией применяются при исходной концентрации БПК_{полн} > 300 мг/л. Рециркуляция очищенной водой после вторичных отстойников позволяет разбавлять сточные воды до концентрации 300 мг/л и очищать ее на биофильтрах до требуемой величины.

Пример 7.6. Рассчитать высоконагружаемый биофильтр при следующих исходных данных:

- суточный расход сточных вод – 40000 м³/сут;
- L_{en} - 385 мг/л;
- L_{ex} = 25 мг/л;
- температура сточных вод – 14 °С.

1. Определяем коэффициент рециркуляции:

$$k_{rl} = \frac{L_{en} - L_{mix}}{L_{mix} - L_{ex}} = \frac{385 - 300}{300 - 15} = \frac{85}{285} = 0,3,$$

где L_{mix} – концентрация БПК_{полн} смеси исходной сточной воды с рециркуляционной очищенной.

2. Коэффициент k_{af} :

$$k_{af} = \frac{L_{mix}}{L_{ex}} = \frac{300}{25} = 12,0.$$

3. По табл. 7.8 находим при температуре сточных вод 14 °С ближайшее меньшее значение k_{af} – 10,0. Этому значению соответствует H_{af} = 4 м, удельный расход воздуха q_a = 10 м³/м³, гидравлическая нагрузка q_{af} = 20 м³/(м²·сут).

4. Требуемая площадь фильтрования, м²,

$$F_{af} = \frac{Q_w}{q_{af}} = \frac{40000}{20} = 2600.$$

5. При числе рабочих фильтров n_{af} = 4 диаметр одного фильтра составит, м,

$$D_{af} = \sqrt{\frac{4F_{af}}{\pi \cdot n_{af}}} = 28,8.$$

Принимаем 4 биофильтра диаметром 29 м.

6. Объем загрузки (щебня крупностью 40-70 мм) составит, м³,

$$W = H_{af} \cdot n_{af} \cdot F_{af}' = 4 \cdot 4 \cdot \frac{3,14 \cdot 29^2}{4} = 10563.$$

7. Требуемое количество воздуха, м³/ч,

$$Q_{air} = q_a \frac{Q_w}{24} = 10 \cdot \frac{4000}{24} = 1666,7.$$

По табл. 7.4 подбираем 2 рабочих вентилятора и 1 резервный низкого давления марки ЭВР-2 производительностью 200-2000 м³/ч, напором 15-70 мм, мощностью двигателя 0,25-1 кВт.

7.7. Расчет реактивной системы орошения биофильтра

Реактивная система состоит из двух, четырех или шести дырчатых труб, консольно закрепленных на общем стояке. Вода из распределительной камеры под напором поступает в стояк, установленный на шариковых подшипниках. Из стояка вода поступает в радиально расположенные трубы и через отверстия в них выливается на поверхность биофильтра. Под действием реактивной силы, возникающей при истечении воды из отверстий, распределитель вращается (рис. 7.5).

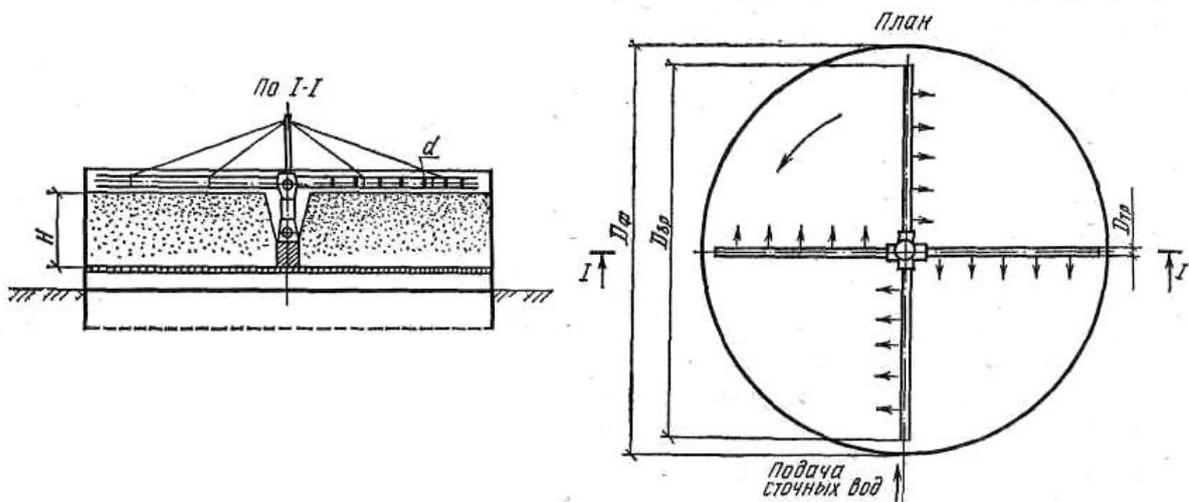


Рис. 7.5. Схема круглого в плане биофильтра с реактивным оросителем:

- 1 – сплошное дно; 2 – междонное пространство; 3 – дырчатое дно; 4 – загрузка;
5 – дырчатые трубы; 6 – стояк

Пример 7.7. Рассчитать реактивные оросители для высоконагружаемых био-фильтров при следующих исходных данных:

- расчетный расход сточных вод, м³/с, – 0,47;
- число биофильтров – 4;
- диаметр биофильтра, м – 26;

- высота загрузки, м – 4.

Расчет реактивного оросителя сводится к определению диаметра распределительных труб, числа отверстий на распределительных трубах, расстояний между отверстиями, числа оборотов оросителя и напора воды, обеспечивающего необходимые скорости истечения воды из отверстий оросителя.

1. Диаметр реактивного оросителя, м,

$$D_{op} = D_{af} - 0,2 = 26 - 0,2 = 25,8.$$

2. В каждом оросителе принимаем по четыре распределительных трубы и определяем их диаметр, исходя из скорости движения жидкости в начале трубы $v > 0,5$ м/с, но не более 1 м/с. При $v = 0,75$ м/с диаметр

$$D_{TP} = \sqrt{\frac{4q_w}{n_{TP} \cdot \pi \cdot v \cdot n_{отв}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,47}{4 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 4}} = \sqrt{0,037} = 0,192 = 192 \text{ мм.}$$

3. Число отверстий на каждой распределительной трубе $n_{отв}$ при скорости истечения не менее 0,5 м/с и диаметре отверстия $d_{отв}$ не менее 15 мм составит

$$n_{отв} = \frac{1}{1 - \left(1 - \frac{80}{D_{op}}\right)^2} = \frac{1}{1 - \left(1 - \frac{80}{12900}\right)^2} = \frac{1}{0,012} = 83,3 \approx 84.$$

4. Расстояния до любого отверстия от оси реактивного оросителя, мм,

$$n_1 = R_{op} \sqrt{\frac{1}{n_{отв}}} = 1419;$$

$$n_{10} = R_{op} \sqrt{\frac{10}{n_{отв}}} = 4515;$$

$$n_{20} = 12900 \sqrt{\frac{20}{84}} = 6321;$$

$$n_{50} = 12900 \sqrt{\frac{50}{84}} = 7648,4;$$

$$n_{70} = 12900 \sqrt{\frac{70}{84}} = 11739;$$

$$n_{80} = 12900 \sqrt{\frac{80}{84}} = 12577,5.$$

5. Частота вращения, мин^{-1} , реактивного оросителя:

$$n_0 = \frac{34,8 \cdot 10^6}{n_{отв} \cdot d_{отв}^2 \cdot D_{op}} \cdot \frac{q}{4} = \frac{34,8 \cdot 106}{84 \cdot 15^2 \cdot 12900} \cdot \frac{60}{4} = 2,14.$$

6. Требуемый напор u реактивного оросителя при четырех распределительных трубах, м,

$$h_{op} = \left(\frac{q}{4}\right)^2 \left(\frac{256 \cdot 10^6}{d_{отв}^4 \cdot n_{отв}^2} - \frac{81 \cdot 10^6}{D_{TP}^4} + \frac{294 \cdot D_{op}}{K^2 \cdot 10} \right) = \left(\frac{60}{2}\right)^2 \left(\frac{256 \cdot 10^6}{15^4 \cdot 84^2} - \frac{81 \cdot 10^6}{200^4} + \frac{294 \cdot 25,900}{300^2} \right) =$$
$$= \frac{340,7}{1000} = 0,34,$$

где K – расходная характеристика, принимаемая по табл. 7.9, л/с,

Значения расходной характеристики K

$D_{тр}$, мм	K , л/с						
50	6	100	43	150	134	200	300
75	19	125	86,5	175	209	250	560

Назначаем $h_{ор} = 0,5$ м.

Таким образом, в каждом биофилтре принимаем реактивные оросители $D_{ор} = 25,80$ м с четырьмя распределительными трубами $D_{тр} = 200$ мм и размещаем их на 0,2 м выше поверхности загрузочного материала.

7.8. Вторичные отстойники, расположенные после аэротенков

Вторичные отстойники предназначены для отделения активного ила от биологически очищенной воды, выходящей из аэротенков. Эффективность работы вторичных отстойников определяет конечный эффект очистки воды от взвешенных веществ.

Вторичные отстойники всех типов после аэротенков надлежит рассчитывать по гидравлической нагрузке q_{ssa} , $м^3/(м^2 \cdot ч)$, с учетом концентрации активного ила в аэротенке a_i , г/л, его индекса J_i , $см^3/г$, и концентрации ила в осветленной воде a_t , мг/л.

Пример 7.8. Рассчитать вторичные отстойники после аэротенков при следующих исходных данных:

- расчетный расход сточных вод, $м^3/ч$, – 1875;
- концентрация БПК_{полн}, мг/л, – $L_{en} = 210$;
- продолжительность биокисления, ч, – $t_{at} = 6,7$;
- концентрация ила в осветленной воде, мг/л, – $a_t = 12$;
- концентрация БПК_{полн} в осветленной воде, мг/л, – $L_{ex} = 15$.

1. Определяем нагрузку на ил, мг, БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества ила в сутки:

$$q_i = \frac{24(L_{en} - L_{ex})}{a_i(1 - S)t_{at}} = \frac{24(210 - 15)}{2,2(1 - 0,3)6,7} = 453,6,$$

где a_i – доза ила, г/л, $a_i = 2,2$.

2. По табл. 7.7 находим значение илового индекса $J_i = 88$ $см^3/г$.

3. Гидравлическая нагрузка, $м^3/(м^2 \cdot ч)$,

$$q_{ssa} = \frac{4,5K_{ss}H_{set}^{0,8}}{(0,17J_i \cdot a_i)^{0,500,01a_i}} = \frac{4,5 \cdot 0,45 \cdot 3,1^{0,8}}{(0,1 \cdot 88 \cdot 2,2)^{0,5 - 0,01 \cdot 12}} = 1,62,$$

где K_{ss} – коэффициент использования объема зоны отстаивания, принимаемый для радиальных отстойников – 0,4, вертикальных – 0,35, горизонтальных – 0,45;

H_{set} – глубина рабочей зоны, м; $H_{set} = 3,1$ м для горизонтальных отстойников.

4. Требуемая площадь отстаивания, $м^2$,

$$F_{ssa} = \frac{q_w}{q_{ssa}} = \frac{1875}{1,62} = 1157,4.$$

5. При размере одного отделения $B \cdot L = 9 \cdot 30 = 270 \text{ м}^2$, потребуется

$$n_{ssa} = \frac{F_{ssa}}{270} = \frac{1157,4}{270} = 4,3.$$

Принимаем 5 отделений вторичных горизонтальных отстойников с размерами каждого $9 \times 30 \text{ м}$.

6. Прирост ила, мг/л,

$$P_i = 0,8C_{edp} + K_q L_{en} = 0,8 \cdot 150 + 0,3 \cdot 210 = 183,$$

где C_{cdp} – количество взвешенных веществ, допустимых на биологическую очистку, $C_{cdp} = 150 \text{ мг/л}$;

K_q – коэффициент; $K_q = 0,3$.

7. Количество образующегося ила за сутки, $\text{м}^3/\text{сут}$, при влажности $P = 99,3 \%$:

$$Q_i = \frac{(P_i - a_t) Q_w \cdot n}{(100 - P) \cdot \gamma \cdot 10^4} = \frac{(183 - 12) \cdot 1875 \cdot 24}{(100 - 99,3) \cdot 1 \cdot 10^4} = 1099,3,$$

где P – влажность активного ила, $P = 99,3 \%$;

γ – плотность активного ила, $\gamma = 1 \text{ г/м}^3$.

7.9. Вторичные отстойники, расположенные после биофильтров

Вторичные отстойники, расположенные после биофильтров, предназначены для задержания биологической пленки, поступающей с водой из них.

Пример 7.9. Рассчитать вторичные отстойники после биофильтров при следующих исходных данных:

- расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{ч}$, – 1500;

- коэффициент рециркуляции – 0,3;

- приведенное число жителей – 87600.

Расчет сводится к определению гидравлической нагрузки, требуемой площади вторичных отстойников и их числа, а также к вычислению количества образующейся биопленки за сутки.

1. Гидравлическая нагрузка, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$,

$$q_{ssb} = 3,6 K_{set} \cdot U_0 = 3,6 \cdot 0,5 \cdot 1,4 = 2,52,$$

где U_0 – гидравлическая крупность биопленки; при полной биологической очистке $U_0 = 1,4 \text{ мм/с}$; значения коэффициента K_{set} следует принимать для горизонтальных отстойников равен 0,5.

2. Требуемая площадь отстойников, м^2 ,

$$F_{set} = \frac{q_w (1 + K_{r.c})}{q_{ssb}} = \frac{1500 \cdot 1,3}{2,52} = 773,8.$$

3. Число горизонтальных отделений при размере одного $F_1 = B \cdot L = 9 \cdot 30 = 270 \text{ м}^2$ составит

$$n_{set} = \frac{F_{set}}{F_1} = \frac{773,8}{270} = 2,9,$$

но т.к. число отстойников вторичных следует принимать не менее трех, а при минимальном числе их расчетный объем необходимо увеличить в 1,2–1,3 раза, то требуемое число горизонтальных отделений составит $2,9 \cdot 1,3 \approx 4$ шт.

4. Количество образующейся биопленки за сутки, $\text{кг}^3/\text{сут}$,

$$Q_{b,r} = \frac{(28N_{brL} - a_t Q_w) \cdot n}{(100 - P) \cdot \gamma \cdot 10^4} = \frac{(28 \cdot 87600 - 15 \cdot 1500 \cdot 24) \cdot 1,2}{(100 - 96) \cdot 1 \cdot 10^4} = 56,9,$$

где 28 – норма, г, образующейся биопленки на одного жителя в сутки;

a_t – вынос биопленки из вторичного отстойника. При полной биологической очистке и 1,5-часовым отстаиванием $a_t = 15$ мг/л;

n – коэффициент неравномерности, $n = 1,2$;

γ – плотность биопленки, $\gamma \approx 1,0$ т/м³;

Q_w – суточный расход сточных вод, м³/сут;

p – влажность биопленки, $p = 96$ %.

Глава 8. РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ ПО ДООЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД

Необходимость в сооружениях по доочистке сточных вод возникает в связи с тем, что полная биологическая очистка, в лучшем случае, дает воду с концентрацией загрязнений: по взвешенным веществам – 12-20 мг/л, по БПК – 15-20 мг/л, в то время как выпуск в водоем предусматривает по санитарным нормам значительно более низкие показатели по этим ингредиентам, не говоря уже о показателях фосфора и соединений азота. В данной работе показатели фосфора и азота все не рассматриваются.

В практике широкое распространение получили следующие сооружения по доочистке сточных вод: барабанные сетки, фильтры, микрофильтры, биологические пруды. Выбор того или иного сооружения зависит от требуемой степени доочистки (табл. 8.1).

Таблица 8.1

Технологические показатели сооружений доочистки

	Снижение содержания загрязняющих веществ, %
--	---

Наименование сооружений	по взвешенным веществам	по БПК _{полн}
Барабанные сетки	20-25	5-10
Микрофильтры	50-60	25-30
Зернистые фильтры	45-80	35-70
Биологические пруды	45-95	35-90

8.1. Барабанные сетки

Пример 8.1. Рассчитать доочистку на барабанных сетках для очистной станции со следующими данными:

- максимальный суточный расход сточных вод, м³/сут, $Q_w = 60$ тыс.
- концентрация взвешенных веществ в биологически очищенной воде, мг/л, $C_{\bar{o.o}} = 14$;
- допустимая концентрация взвешенных веществ для спуска в водоем, мг/л, $C_{dem} = 11$;
- концентрация БПК_{полн} в биологически очищенной воде, мг/л, $L_{\bar{o.o}} = 15$;
- допустимая концентрация БПК_{полн} для спуска в водоем, мг/л, $L_{dem} = 13,5$.

1. Определяем эффект доочистки, %:

- по взвешенным веществам

$$\mathcal{E}_c = \frac{C_{\bar{o.o}} - C_{dem}}{C_{\bar{o.o}}} \cdot 100 = \frac{14 - 11}{14} \cdot 100 = 21,4;$$

- по БПК_{полн}

$$\mathcal{E}_L = \frac{L_{\bar{o.o}} - L_{dem}}{L_{\bar{o.o}}} \cdot 100 = \frac{15 - 13,5}{15} \cdot 100 = 10.$$

По табл. 8.1 подбираем сооружения доочистки, которые обеспечили бы эффект по взвешенным веществам 21,4 % и по БПК_{полн} – 10 %. Такими сооружениями являются барабанные сетки.

2. Требуемая площадь барабанных сеток, м²,

$$F_{b.c} = \frac{Q_w \cdot K_1}{v_{b.c} \cdot K_2 \cdot T} = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot 1,04}{60 \cdot 0,6 \cdot 24} = 72,2,$$

где K_1 – коэффициент, учитывающий подачу воды на промывку барабанных сеток, $K_1 = 1,03 \dots 1,05$;

K_2 – коэффициент, учитывающий погружение сетки в воду, $K_2 = 0,5 - 0,63$;

$v_{b.c}$ – скорость, $v_{b.c} = 50 \dots 70$ м/ч;

T – продолжительность работы, $T = 20 - 24$ ч.

3. По табл. 8.2 подбираем типовые барабанные сетки с размерами $D \times L = 3 \times 2,8$ м и вычисляем требуемое число рабочих сооружений. Площадь одной

барабанной сетки с размерами $D \times L = 3 \times 2,8$ м составляет $F_1 = 26,3 \text{ м}^2$, следовательно число рабочих $n_{b.c} = \frac{F_{b.c}}{F_1} = \frac{72,2}{26,8} \approx 3$ шт.

По табл. 8.3 принимаем одну резервную барабанную сетку.

Таблица 8.2

Характеристики типовых барабанных сеток

Типоразмер (диаметр барабана× × длину, м)	Размеры ячеек фильтрующей сетки, мм	Производительность	
		тыс. м ³ /ч	тыс. м ³ /сут
1,5 × 1,9	0,3 × 0,3 или 0,5 × 0,5	0,42	10,08
1,5 × 2,8		0,62	14,88
1,5 × 3,7		0,84	20,16
3 × 2,8		1,5	36
3 × 3,7		2	48
3 × 4,6		2,5	60

Таблица 8.3

Количество резервных сетчатых барабанных фильтров

Барабанные фильтры	Число	
	рабочих	резервных
Микрофильтры	До 4	1
	Свыше 4	2
Барабанные сетки	До 6	1
	Свыше 6	2

8.2. Микрофильтры

Пример 8.2. Рассчитать доочистку на микрофильтрах для очистной станции со следующими данными:

- максимальный суточный расход сточных вод Q_w , м³/сут, – 45 тыс.;
 - концентрация взвешенных веществ в биологически очищенной воде $C_{b.o}$, мг/л, – 13;
 - допустимая концентрация взвешенных веществ для спуска в водоем C_{dem} , мг/л, – 6;
 - концентрация БПК_{полн} в биологически очищенной воде $L_{b.o}$, мг/л, – 15;
 - допустимая концентрация БПК_{полн} для спуска в водоем L_{dem} , мг/л, – 11.
1. Определяем эффект доочистки, %:
- по взвешенным веществам

$$\mathcal{E}_c = \frac{C_{b.o} - C_{dem}}{C_{b.o}} \cdot 100 = \frac{13-6}{13} \cdot 100 = 53,84;$$

- по БПК_{полн}:

$$\mathcal{E}_L = \frac{L_{b.o} - L_{dem}}{L_{b.o}} \cdot 100 = \frac{15-11}{15} \cdot 100 = 26,67.$$

По табл. 8.1 подбираем сооружения доочистки, которые обеспечили бы эффект по взвешенным веществам 53,54 % и по БПК_{полн} – 26,67 %. Такими сооружениями являются микрофильтры.

2. Требуемая площадь микрофильтров, м²,

$$F_{м.ф} = \frac{Q_w \cdot K_1}{v_f \cdot K_2 \cdot T} = \frac{45 \cdot 10^3 \cdot 1,04}{0,63 \cdot 24 \cdot 20} = 154,8,$$

где K_1 – коэффициент, учитывающий увеличение производительности за счет промывной воды, $K_1 = 1,03-1,05$;

K_2 – коэффициент, учитывающий фильтрующую поверхность, расположенную над водой (при погружении барабана на 0,6 или 0,7 диаметра K_2 соответственно равен 0,55 и 0,63);

v_f – скорость фильтрования, $v_f = 20-25$ м/ч;

T – продолжительность работы станции доочистки, $T = 24$ ч.

3. По табл. 8.4 подбираем типовые микрофильтры $D \times L = 3 \times 4,6$ с площадью $F_1 = 43,3$ м².

Таблица 8.4

Характеристики микрофильтров

Типоразмер (диаметр × длину), м	Размер ячеек фильтрующей сетки, мм	Производительность	
		тыс. м ³ /ч	тыс. м ³ /сут
1,5 × 1,9	0,035 или 0,04 × 0,04	0,1	2,4
1,5 × 2,8		0,16	3,84
1,5 × 3,7		0,21	5,04
3 × 2,8		0,4	9,6
3 × 3,7		0,53	12,72
3 × 4,6		0,66	15,84

Число рабочих микрофильтров составит

$$n_{м.ф} = \frac{154,8}{43,3} \approx 4 \text{ шт.}$$

4. По табл. 8.3 принимаем один резервный микрофильтр.

8.3. Зернистые фильтры

Пример 8.3. Рассчитать доочистку на зернистых фильтрах для очистной станции со следующими данными:

- максимально-суточный расход сточных вод Q_w , м³/сут, – 75 тыс.

- концентрация взвешенных веществ в биологически очищенной воде $C_{b.o}$, мг/л, – 15;
 - допустимая концентрация взвешенных веществ для спуска в водоем C_{dem} , мг/л, – 7;

- концентрация БПК_{полн} в биологически очищенной воде $L_{b.o}$, мг/л, – 15;
 - допустимая концентрация БПК_{полн} для спуска в водоем L_{dem} , мг/л, – 6.

1. Определяем эффект доочистки, %:

- по взвешенным веществам

$$\mathcal{E}_c = \frac{C_{b.o} - C_{dem}}{C_{b.o}} \cdot 100 = \frac{15 - 7}{15} \cdot 100 = 53,3;$$

- по БПК_{полн}

$$\mathcal{E}_L = \frac{L_{b.o} - L_{dem}}{L_{b.o}} \cdot 100 = \frac{15 - 6}{15} \cdot 100 = 60.$$

Подбираем двухслойные фильтры с подачей воды сверху вниз, эффект очистки в которых составляет по взвешенным веществам 70-80 %, а по БПК_{полн} – 60-70 %.

При проектировании фильтров с зернистой загрузкой следует предусматривать при подаче сточных вод после биологической очистки – установку перед фильтрами (кроме КЗФ) барабанных сеток.

2. Расчет барабанных сеток.

2.1. Требуемая площадь барабанных сеток, м²,

$$F_{b.c} = \frac{Q_w \cdot K_1}{v_{b.c} \cdot K_2 \cdot T} = \frac{75 \cdot 10^3 \cdot 1,04}{60 \cdot 0,6 \cdot 24} = 90,3,$$

где K_1 , K_2 , $v_{b.c}$ и T (см. пример 8.1).

2.2. По табл. 8.2 подбираем типовые барабанные сетки с размерами $D \times L = 3 \times 3,7$ и фильтрующей площадью $F_1 = 34,85$ м², тогда число барабанных сеток рабочих составит $n_{b.c} = \frac{F_{b.c}}{F_1} = \frac{90,3}{34,85} \approx 3$ шт.

2.3. По табл. 8.3 подбираем одну резервную барабанную сетку.

3. Зернистые фильтры.

Станция доочистки на зернистых фильтрах включает в себя: насосную станцию с приемным резервуаром, барабанные сетки, резервуар промывной воды, насосы для подачи промывной воды на фильтры. В рамках программы данной дисциплины расчет зернистых фильтров ограничиваем определением требуемой площади фильтров, числа фильтров и выбором размера фильтров, проверкой скорости при форсированном режиме.

3.1. Требуемая площадь фильтров, м²,

$$F_f = \frac{Q_w(1+m)}{T \cdot v_f - 3,6n(w_1t_1 + w_2t + t_3w_3) - nv_f \cdot t_4} = \frac{75 \cdot 10^3(1+0,03)}{24 \cdot 7,5 - 3,6 \cdot 2(15 \cdot 0,2) - 2 \cdot 7,5 \cdot 0,33} = 503,42,$$

где m – коэффициент увеличения нагрузки за счет промывной воды, $m = 0,03$;

T – продолжительность работы станции в сутки, ч, $T = 24$ ч;

v_f – расчетная скорость фильтрации, м/ч, $v_f = 7-8$ м/ч;

n – число регенераций фильтров в сутки, $n = 2$;

w_1 – интенсивность подачи воды на взрыхление загрузки, л/(с·м²);

w_2 – интенсивность подачи воды на водо-воздушную промывку, л/(с·м²);
 w_3 – интенсивность подачи воды на водяную промывку, л/(с·м²);
 t_4 – продолжительность простоя одного фильтра, ч, $t_4 = 0,33$.

3.2. Число фильтров, шт.,

$$N_f = 0,5\sqrt{F_f} = 0,5\sqrt{503,42} = 11,2.$$

Принимаем число фильтров 11 с площадью каждого $F_1 = \frac{503,42}{11} = 45,8$ м².

Размеры фильтра В × L = 6 × 8 м. Число фильтров, находящихся в ремонте, принимаем равным двум, тогда общее число фильтров составит $N_0 = N_\phi + N_p = 11 + 2 = 13$.

3.3. Скорость фильтрования при форсированном режиме составит, м/ч,

$$v_{ff} = \frac{v_f \cdot N_f}{(N_0 - N_p)} = \frac{7,5 \cdot 11}{9} \approx 9,2,$$

что соответствует скорости (9-10) при форсированном режиме для такого типа фильтров.

Глава 9. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ И ВЫПУСК ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

9.1. Обеззараживание очищенных сточных вод

Обеззараживание очищенных сточных вод производится с целью уничтожения оставшихся в них патогенных бактерий и устранения опасности заражения воды водоема. При биологической очистке сточных вод в искусственных сооружениях общее содержание бактерий уменьшается на 95 %.

Однако полностью уничтожить болезнетворные бактерии можно только обеззараживанием сточных вод различными дополнительными способами [10].

Обеззараживание сточных вод, сбрасываемых в водные объекты, рекомендуется производить ультрафиолетовым излучением. Допускается обеззараживание хлором или другими хлорсодержащими реагентами (хлорной известью, гипохлоритом натрия, получаемым в виде продукта с химических предприятий, электролизом растворов солей или минерализованных вод, прямым электролизом сточных вод и др.) при обеспечении обязательного дехлорирования обеззараженных сточных вод перед сбросом в водный объект [1, п. 9.2.11.2]. Перечисленные окислители вызывают инактивацию кишечных вирусов в результате денатурирования их белковой оболочки. По вируцидному действию свободные формы хлора в 50-100 раз превосходят его связанные формы [10]. Поэтому одним из распространенных способов обеззараживания сточной воды является хлорирование.

Установка для хлорирования газообразным хлором имеет хлораторную, смеситель, контактные резервуары. Хлораторная состоит из склада хлора, хлордозаторной, насосной и вспомогательных помещений. Склад хлора предназначен для хранения хлора в баллонах или в бочках в жидком состоянии. После испарителя газообразный хлор проходит грязевик, фильтр и затем подводится через хлораторы ЛОНИИ-100 к эжекторам, в которые насосами-повысителями подается водопроводная вода. После этого хлорная вода отводится из хлораторной в смеситель. Типовые хлораторные приведены в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Данные типовых хлораторных, работающих на газообразном хлоре

Типовой проект	Производительность, кг/ч	Тип хлоратора	Подача хлора, кг/ч	Количество хлораторов	Вместимость склада хлора, т	Площадь хлораторной, м ²
901-3/64	1	ЛОНИИ-100	0,2-1,3	2	-	9 × 6
901-3-17/69	2	"-	0,4-2,5	2	1,1	12 × 6
901-3-16/70	5	"-	1,3-8,0	2	3,6	15 × 6
901-3-15/70	10	"-	12,8	2	8,0	21 × 12
901-3-14/70	20	"-	12,8	3	15,0	-
901-3-8/70	30	"-	-	-	21,0	30 × 12
901-3-10/70	50	"-	-	-	36,0	36 × 12

Расход активного хлора, кг/ч, необходимого для обеззараживания сточных вод, определяется по формуле

$$Q_{cl} = \frac{a \cdot q_w}{1000},$$

где a – расчетная доза, г/м³, активного хлора, принимаемая по п. 9.2.11.4 СП [1] и составляющая для очищенных сточных вод:

- после механической очистки – 10;
- после биологической очистки, физико-химической и глубокой очистки – 3.

Для смешения сточной воды с хлором следует применять смесители любого типа [СП 1, п. 9.2.11.6]. Ершовые смесители применяются при расходе сточных вод до 400 л/с. Смесители типа лотка Паршала применяются при расходе сточных вод от 1400 до 280 тыс. м³/сут (табл. 9.2, рис. 9.1).

Таблица 9.2

Размеры смесителей типа лотка Паршала

Пропускная способность, м ³ /сут	A	B	C	D	E	H _A	H'	H	L	i'	l	L''	b
1400-4200	1,35	1,3	0,55	0,78	1,32	0,29	0,26	0,32	5,85	1,7	4,7	7,17	0,23
4200-7000	1,35	0,45	0,55	0,78	1,32	0,4	0,38	0,42	5,85	4	7	9,47	0,23
7000-32000	1,475	0,6	0,8	1,08	1,45	0,65	0,6	0,65	6,1	7,4	11	13,63	0,5
32000-80000	1,73	0,9	1,3	1,68	1,7	0,61	0,59	0,63	6,6	7,4	11	13,97	1
80000-160000	1,73	1,2	1,3	1,68	1,7	1	0,8	1	6,6	8,9	12,5	14,97	1
160000-280000	1,995	1,5	1,8	2,28	1,95	1	0,85	1,15	7,1	10,2	14	15,3	1,5

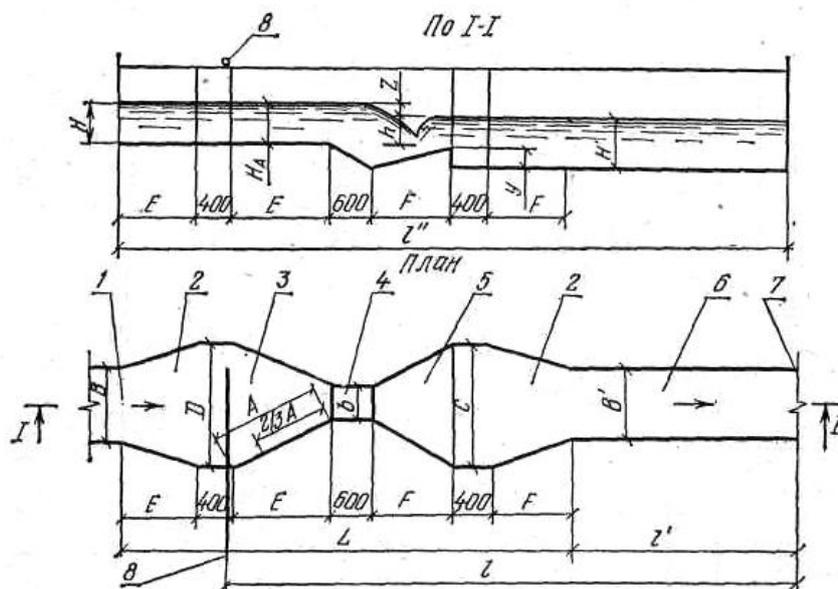


Рис. 9.1. Схема смесителя типа лоток Паршала:

- 1 – подводящий лоток; 2 – переход; 3 – подводящий раструб; 4 – горловина; 5 – отводящий раструб; 6 - отводящий лоток; 7 – створ полного перемешивания; 8 – подача хлорной воды

Продолжительность контакта хлора или гипохлорита со сточной водой в резервуаре или в отводящих лотках и трубопроводах надлежит принимать 30 мин [СП 1, п. 9.2.11.7]. Для соблюдения данной рекомендации применяются контактные резервуары в количестве не менее двух. Проектируются контактные резервуары как первичные отстойники без скребков (рис. 9.2).

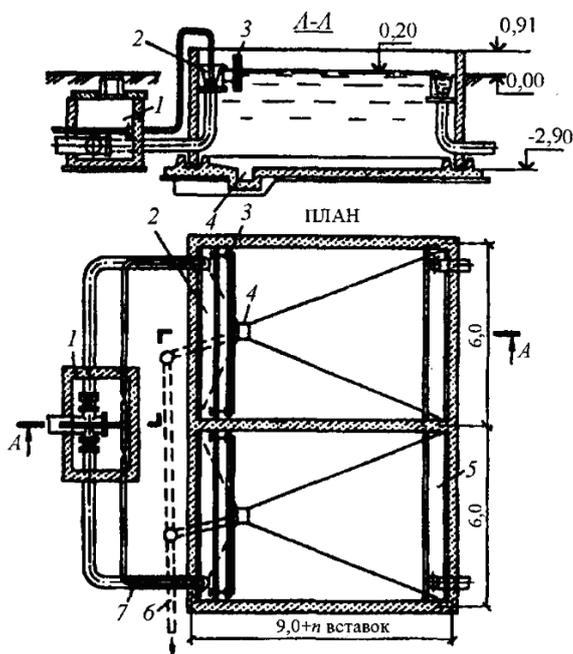


Рис. 9.2. Контактный резервуар:

- 1 – распределительная камера;
- 2 – впускной лоток;
- 3 – струенаправляющий щит;
- 4 – приямок осадка;
- 5 – сборный лоток;
- 6 – трубопровод опорожнения;
- 7 – воздухопровод

Допускается предусматривать барботаж воды сжатым воздухом при интенсивности $0,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. В результате взаимодействия загрязняющих веществ с хлором образуется осадок, количество которого следует принимать 1 л на 1 м^3 сточной воды при влажности 98 %:

- после механической очистки – 1,5;
- после биологической очистки в аэротенках и на биофильтрах – 0,5.

Количество остаточного хлора в обеззараженной воде после контакта должно быть не менее $1,5 \text{ г/м}^3$ [СП 1, п. 9.2.11.4].

Таблица 9.3

Размеры типовых контактных резервуаров

Пропускная способность, тыс.м ³ /сут	Расчетный объем, м ³	Число отделений	Размеры отделения, м		
			ширина	длина	глубина
35	972	3	6	18	3,2
50	1350	3	6	24	3,2
50	1382	4	6	18	3,2
70	1720	3	6	30	3,2
70	1843	4	6	24	3,2
100	2534	4	6	33	3,2
140	3200	3	9	36	3,3
200	4200	3	9	48	3,3

Пример 9.1. Рассчитать установку для хлорирования газообразным хлором для сточных вод при следующих исходных данных:

- максимальный расход сточных вод, м³/ч, – 1350;
- минимальный расход сточных вод, м³/ч, – 93,5;

- сточные воды подвержены полной биологической очистке.

1. Расчет хлораторной.

1.1. Максимально-часовой расход активного хлора, кг/ч,

$$Q_{cl}^{\max} = \frac{a \cdot q_w^{\max}}{1000} = \frac{3 \cdot 1350}{1000} = 4,0.$$

1.2. Минимально-часовой расход активного хлора, кг/ч,

$$Q_{cl}^{\min} = \frac{a \cdot q_w^{\min}}{1000} = \frac{3 \cdot 935}{1000} = 28.$$

1.3. Так как хлорное хозяйство очистных сооружений должно обеспечивать возможность увеличения расчетной дозы хлора в 1,5 раза без изменения вместимости складов для реагентов [СП 1, п.9.2.11.5], то производительность хлораторной составит, кг/ч,

$$G = Q_{cl}^{\max} \cdot 1,5 = 4 \cdot 1,5 = 6.$$

1.4. Подбираем типовую хлораторную по табл. 9.1: типовой проект 901-3-16/70, подача хлора 1,3-8,0 кг/ч, число хлораторов – 2 и площадь хлораторной – $15 \times 6 \text{ м}^2$.

2. Выбор смесителя.

По табл. 9.2 подбираем типовой проект с пропускной способностью 7000-32000 м³/сут и соответствующими размерами.

3. Расчет контактных резервуаров.

3.1. Требуемый объем контактных резервуаров, м³,:

$$W_{c.r} = q_w \cdot T = 1350 \cdot 0,5 = 675,$$

где q_w – максимально часовой расход, м³/ч;

T – продолжительность контакта, ч, $T = 0,5$.

3.2. Число контактных резервуаров

$$n_{c.r} = \frac{W_{c.r}}{W_1} = \frac{675}{223,2} = 3,0 \text{ шт.},$$

где $W_1 = B \times L \times H = 6 \times 12 \times 3,1 = 223,2 \text{ м}^3$ (см. рис. 9.2).

3.3. Расход воздуха, м³/ч,

$$Q_{air} = J \cdot F_1 \cdot n_{c.r} = 0,5 \cdot 6 \cdot 12 \cdot 3 = 108.$$

3.4. Количество осадка, выпадающего в контактных резервуарах, м³/ч,:

$$W_{mud} = \frac{a \cdot q_w}{1000} = \frac{0,5 \cdot 1350}{1000} = 0,675.$$

Осадок из контактных резервуаров удаляется периодически после слива отстающей воды и направляется или непосредственно на иловые площадки для подсушки или же в начало системы очистных сооружений на повторный цикл очистки.

9.2. Выпуск очищенных сточных вод

Для спуска очищенных сточных вод в водоемы применяют два типа выпусков: береговые и русловые. Береговые выпуски подразделяются на затопленные и незатопленные. Для затопленных береговых выпусков устраиваются береговые колодцы с выходом сточных вод под уровень воды в водоеме, незатопленные береговые выпуски представляют собой соединение

потоков под различным углом слияния. Береговые выпуски обеспечивают незначительное первоначальное смешение потоков, поэтому применяются для спуска стоков с концентрацией загрязнений, не влияющих на санитарное состояние водоема.

Русловые выпуски располагаются на определенном расстоянии от берега. Для сброса сточных вод в реки всегда целесообразно применять русловые рассеивающие выпуски, которые обеспечивают наиболее полное смешение сточной воды с водами водоема.

Пример 9.2. Рассчитать русловой рассеивающий выпуск для очищенных сточных вод при следующих исходных данных:

- расход сточных вод (максимальный), м³/ч, – 1350;
- средний расход сточных вод, м³/ч, – 1200;
- ширина реки в месте выпуска, м, – 80;
- расход воды в реке, м³/с, – 3,4;
- отметка максимального уровня воды в реке Z_1 , м, – 117,4;
- отметка уровня воды в береговом колодце Z_2 , м, – 115,6.

1. Определяем кратность разбавления в расчетном створе:

$$n = \frac{(\alpha Q_r + q_w)}{q_w} = \frac{(0,97 \cdot 3,4 + 0,3)}{0,33} = 11,$$

где Q_r – расход воды в реке, м³/с;

α – коэффициент смешения;

$$q_w \text{ – среднесекундный расход сточных вод м}^3/\text{с, - } \frac{1200}{3600} = 0,33.$$

2. Длина рабочей части выпуска м,

$$L = \frac{q_w \cdot n \cdot 13}{Q_r} = \frac{0,33 \cdot 11 \cdot 80}{3,4} = 85,4.$$

3. Диаметр трубы выпуска м,

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot q_w}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,33}{3,14 \cdot 1,0}} \approx 0,65,$$

где v – скорость, м/с, $v = 1 \dots 1,6$ м/с.

4. Критическая длина дырчатой трубы, м,

$$L_{c.r} = \frac{3D}{\lambda} = \frac{3 \cdot 0,65}{0,0235} \approx 8,3,$$

где λ – коэффициент трения по длине.

Критическая длина дырчатых труб при различных диаметрах:

D , мм	300	400	500	600	700	800	1000	1200	1400
λ	0,03	0,028	0,026	0,024	0,023	0,012	1,021	0,02	0,019
$L_{c.r}$, м	30	40	57	75	91	107	143	180	220

Критическая длина дырчатых труб должна быть практически одинаковой рабочей части выпуска, что обеспечит равномерное распределение сточных вод по длине участка, т.к. восстанавливаемый скоростной напор и давление будут

близки по значению. При $L_{cr} > L$ потери напора в трубопроводе на трение меньше восстанавливаемого скоростного напора, поэтому давление в конце его больше, чем в начале, а при $L_{cr} < L$ потери напора на трение превышают восстанавливаемый скоростной напор и давление в конце трубопровода меньше, чем в начале.

5. Минимальный напор в береговом колодце, м,

$$H = Z_1 - Z_2 = 117,4 - 115,6 = 1,8.$$

Глава 10. ПРИЕМНАЯ КАМЕРА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ. ПРОВЕРКА РАБОТЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

10.1. Приемная камера очистных сооружений

Приемная камера предназначается для приема сточных вод, поступающих на очистные сооружения, гашения скорости напорного потока жидкости и сопряжения трубопроводов с открытыми лотками. Камеры предусматриваются на поступление сточных вод по одному или двум трубопроводам и располагаются в насыпи высотой до 5 м.

Выбор типоразмера камеры производится в зависимости от пропускной способности, диаметра и количества напорных трубопроводов по табл. 10.1.

Таблица 10.1

Типовые приемные камеры

На один трубопровод				На два трубопровода		
Пропускная способность, п/с	Диаметр, мм	Марка приемной камеры	Размеры камеры	Диаметр трубы, мм	Марка приемной чаши	Размеры $A \times B \times H$, мм
31	200	ПК-1-20	1000×1000×1200	2 × 150	ПК-2-15	1000×1500×1200
55	250	ПК-1-25а		2 × 200	ПК-2-20	
83	250	ПК-1-25б		2 × 250	ПК-2-25	
134	400	ПК-1-40а		2 × 300	ПК-2-30а	
182	400	ПК-1-40б		2 × 300	ПК-2-30б	
280	500	ПК-1-50		2 × 400	ПК-2-40	
393	600	ПК-1-60	1500×1500×1600	2 × 500	ПК-2-50	1500×2000×1600
476	600	ПК-1-60		2 × 600	ПК-2-60а	
610	700	ПК-1-70		2 × 600	ПК-2-60б	1600×2500×1600
750	700	ПК-1-70		2 × 700	ПК-2-70	
1140	900	ПК-1-90		2 × 800	ПК-2-80	
1390	1400	ПК-1-110			2 × 900	ПК-2-900

10.2. Проверка работы очистных сооружений

На очистные сооружения кроме исходной сточной воды могут также поступать:

- иловые воды из уплотнителей механического обезвоживания (см. рис. 5.3). Количество загрязняющих веществ в такой иловой воде составляет: по взвешенным веществам – 800-1300 мг/л; по БПК_{полн} – 690-900 мг/л [1, п. 9.2.14.28];

- иловая вода с иловых площадок. Дополнительное количество загрязняющих веществ от иловой воды составляют: при сушке сброженных осадков – по взвешенным веществам 2000 мг/л; по БПК_{полн} – 1000-2000 мг/л (большие значения для площадок-уплотнителей, меньшие – для других типов площадок);

- фугат центрифуг при работе последних с флокулянтами.

В этих случаях очистные сооружения следует рассчитывать с учетом дополнительного количества загрязняющих веществ.

Пример 10.2. Произвести проверку работы очистных сооружений при поступлении следующих сточных вод:

- максимальный расход исходной сточной воды, м³/сут, – 55 тыс.; концентрация загрязняющих веществ: взвешенных веществ – 270 мг/л; БПК_{полн} – 145 мг/л;

- суточный расход иловой воды с иловых площадок с асфальто-бетонным покрытием, м³/сут, – 2400;

- схема сооружений включает первичные горизонтальные отстойники и аэротенки-вытеснители без регенерации.

1. Суммарное количество стоков, поступающих на очистные сооружения, м³,

$$Q_w' = Q_{en} + Q_l = 55000 + 2400 = 57400,$$

где Q_l – суточный расход иловой воды, поступающей с иловых площадок, м³.

2. Концентрация загрязнений составит, мг/л:

- по взвешенным веществам

$$C_{en}' = \frac{Q_{en} \cdot C_{en} + Q_l \cdot C_e}{Q_w'} = \frac{55000 \cdot 270 + 2400 \cdot 1000}{57400} = 300,5;$$

- по БПК_{полн}

$$L_{en}' = \frac{Q_{en} \cdot L_{en} + Q_l \cdot L_e}{Q_w'} = \frac{55000 \cdot 145 + 2400 \cdot 1000}{57400} = 180,7.$$

3. По полученным загрязнениям при $C_{en}' > 300$ мг/л следует предусмотреть преаэраторы перед горизонтальными отстойниками, а для биологической очистки следует предусмотреть аэротенки-вытеснители с регенерацией.

4. Расчет преаэратора.

4.1. Эффект очистки в отстойнике составит, %,

$$\Theta = \frac{C_{en}' - C_{ex}'}{C_{en}'} = \frac{300,5 - 130}{300,5} = 56,7,$$

$C_{ex}' = 130$ мг/л.

Такой эффект вполне может быть достигнут без введения активного ила, но с помощью подачи сжатого воздуха с удельным расходом 5 м³/м³. Преаэратор

может увеличивать эффективность задержания загрязняющих веществ по БПК_{полн} и взвешенным веществам в первичных отстойниках на 20-25 %.

4.2. Объем камеры преаэрации, м³,

$$W_r' = q_w' \cdot t_p = \frac{2391,7 \cdot 20}{60} = 797,2,$$

где $q_w' = \frac{Q_w'}{24} = \frac{57400}{24} = 2391,7$.

4.3. Площадь зеркала воды, м²,

$$F_p' = \frac{W_p'}{H_p'} = \frac{797,2}{3,1} = 257,2.$$

4.4. $B_p' = B_{set} = 9$ м, $n_p = n_{set} = 3$.

4.5. Длина преаэратора, м,

$$L_p' = \frac{F_p'}{n_p \cdot B_p} = \frac{257,2}{6 \cdot 3} = 14,3.$$

4.6. Потребное количество воздуха, м³/ч,

$$Q_{air}' = J \cdot q_w' = 5 \cdot 2391,7 = 11958,5.$$

5. Перерасчет первичных горизонтальных отстойников.

5.1. Гидравлическая крупность осаждения, мм/с,

$$U_o' = \frac{1000 K_{set} \cdot H_{set}}{t_{set} \left(\frac{K_{set} \cdot H_{set}}{h_1} \right)^{n_2}} = \frac{1000 \cdot 0,5 \cdot 3,1}{500 \left(\frac{0,5 \cdot 3,1}{0,5} \right)^{0,23}} = 2,35.$$

5.2. Производительность одного отстойника, м³/ч,

$$q_{set}' = 3,6 B_{set} \cdot L_{set} \cdot K_{set} (U_o' - v) = 3,6 \cdot 9 \cdot 24 \cdot 0,5 \cdot (2,35 - 0,05) = 894,2.$$

5.3. Число отстойников

$$n_{set}' = \frac{q_w'}{q_{set}'} = \frac{2391,7}{894,2} = 2,7.$$

5.4. Суточное количество выпавшего осадка, м³/сут,

$$Q_{mud}' = \frac{Q_w' (C_{en}' - C_{ex}')}{(100 - P_{mud}) \cdot \gamma \cdot 10^4} = \frac{57400(300,5 - 130)}{(100 - 95) \cdot 1 \cdot 10^4} = 195,7.$$

6. Перерасчет аэротенков-вытеснителей с регенерацией.

6.1. Доза ила в регенераторе, г/л,

$$a_r' = a_i' \left(\frac{1}{2R_i} + 1 \right) = 1,8 \left(\frac{1}{2 \cdot 0,28} + 1 \right) = 5,0,$$

$$R_c' = \frac{a_i'}{\frac{1000}{J_i - a_i}} = \frac{1,8}{\frac{1000}{120 - 1,8}} = 0,28.$$

6.2. Удельная скорость окисления, мг/г,

$$\rho' = 85 \frac{15 \cdot 2}{15 \cdot 2 + 33 \cdot 2 + 0,625 \cdot 2} \cdot \frac{1}{1 + 0,07 \cdot 5} = 19,8.$$

6.3. БПК_{полн}, определяемое с учетом разбавления рециркуляционным расходом, мг/л,

$$L'_{mix} = \frac{180 + 15 \cdot 0,28}{1 + 0,28} = 143,9.$$

6.4. Продолжительность окисления органических загрязняющих веществ, ч,

$$t_0 = \frac{180 - 15}{0,28 \cdot 5,0(1 - 0,3)19,8} = 8,5.$$

6.5. Продолжительность обработки воды в аэротенке t_a , ч,

$$t'_a = \frac{2,5}{\sqrt{1,8}} \lg \frac{143,9}{15} = 1,93.$$

6.6. Продолжительность регенерации, ч,

$$t'_r = 8,5 - 2 = 6,5.$$

6.7. Вместимость аэротенка, m^3 ,

$$W'_a = t_a (1 + R_i) q'_w = 2,0(1 + 0,28) \cdot 2391,7 = 6122,7.$$

6.8. Вместимость регенератора, m^3 ,

$$W'_r = t_r \cdot R_i \cdot q_w = 6,5 \cdot 0,28 \cdot 2391,7 = 4352,9.$$

6.9. Общая вместимость аэротенка, совмещенного с регенератором, m^3 ,

$$W'_{atr} = W'_a + W'_r = 6122,7 + 4352,9 = 10475,6.$$

6.10. Число коридоров в аэротенке

$$n_c = \frac{W'_{atr}}{W'_r} = \frac{10475,6}{4352,9} = 2,7.$$

Принимаем число коридоров $n_c = 3$.

6.11. При числе секций $n'_s = 4$ требуемая вместимость одного сооружения, m^3 ,

$$W_{atr} = \frac{10475,6}{4} = 2618,9.$$

Далее пп.6.12–6.15 производим аналогично примеру 7.2 данного пособия.

Список литературы

1. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 1998. 72.с.
2. Черкинский С.Н. Санитарные условия спуска сточных вод в водоем. 5-е изд., пер. М.: Стройиздат, 1977. 224 с.
3. СНиП 2.04.01-85*. Внутренний водопровод и канализация зданий/ Минстрой России – М.: ГУП ЦПП, 1996. – 60 с.
4. Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод: Учеб. для вузов: - М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – 704 с.
5. Ласков Ю.М., Воронов Ю.В., Калицин В.И. Примеры расчетов канализационных сооружений. Учеб. пособие для вузов. – М.: Стройиздат, 1987. 255 с.
6. Федоров Н.Ф., Волков Л.Е. Гидравлический расчет канализационных сетей.
7. Лукиных М.А., Лукиных А.А. Гидравлический расчет канализационных сетей.
8. Туровский Н.С. Обработка осадков сточных вод. – М.: Стройиздат, 1988. – 256 с.

9. Справочник проектировщика. Канализация населенных мест и промышленных предприятий/под ред. В. Н. Самохина. – М.: Стойиздат, 1981. – 640 с.
10. Водоотводящие системы промышленных предприятий: учеб. для вузов/ С.В.Яковлев, Я.А.Карелин [и др.]. – М.: Стройиздат, 1990. – 511 с.
11. Очистка сточных вод / М.П. Лапицкая [и др.]. Учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа. 1983. – 255 с.
12. Проектирование сооружений для очистки сточных вод: Справочное пособие к СНиП 2.04.03-85. – М.: Стройиздат, 1990. – 192 с.
13. Шлапакова Э.Н., Бурдова М.Г. Проектирование сооружений механической очистки и обработки осадка сточных вод. – Тула: Изд-во ТулГУ, 1993. – 94 с.

О Г Л А В Л Е Н И Е

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Глава 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОЙ СТЕПЕНИ ОЧИСТКИ ВОД ПРИ ВЫПУСКЕ В ВОДОЕМ.....	4
1.1. Расчетные расходы.....	4
1.2. Расчетное количество жителей.....	6
1.3. Концентрация взвешенных веществ и БПК ₂₀ сточных вод.....	7
1.4. Смешение сточных вод с водой водоема.....	8
1.5. Определение необходимой степени очистки сточных вод по взвешенным веществам.....	11
1.6. Определение необходимой степени очистки сточных вод по БПК ₂₀	12
1.7. Определение необходимой степени очистки сточных вод по содержанию растворенного в воде водоема кислорода.....	14
Глава 2. РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ.....	16
2.1. Выбор метода очистки сточных вод и составление технологической схемы очистной станции.....	16
2.2. Расчет решеток.....	17
2.3. Расчет песколовков.....	21
2.3.1. Горизонтальные песколовки.....	23
2.3.2. Песколовки с круговым движением воды.....	25
2.3.3. Аэрируемые песколовки.....	26
2.3.4. Тангенциальные песколовки.....	26
2.3.5. Песковые площадки.....	27
2.4. Расчет отстойников.....	27
2.4.1. Горизонтальные отстойники.....	29
2.4.2. Радиальные отстойники.....	31
2.4.3. Вертикальные отстойники.....	32
2.5. Расчет сооружений, улучшающих процессы отстаивания.....	34
2.5.1. Преаэраторы.....	34
2.5.2. Биокоагуляторы.....	35
Глава 3. РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ ПО УПЛОТНЕНИЮ ОСАДКА.....	37
3.1. Расчет илоуплотнителей.....	37
3.1.1. Радиальные уплотнители для активного ила.....	37
3.1.2. Вертикальные уплотнители для активного ила.....	40
3.1.3. Уплотнители для аэробно-стабилизированных осадков.....	43
Глава 4. РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ ПО СБРАЖИВАНИЮ ОСАДКА.....	44
4.1. Анаэробные сооружения.....	44
4.1.1. Септики.....	45

4.1.2. Двухъярусные отстойники.....	45
4.1.3. Осветлители-перегниватели.....	48
4.1.4. Метантенки.....	51
4.2. Аэробные сооружения.....	55
Глава 5. РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ ПО ОБЕЗВОЖИВАНИЮ ОСАДКА.....	57
5.1. Обезвоживание осадка в естественных условиях.....	57
5.1.1. Иловые площадки на естественном основании.....	58
5.1.2. Иловые площадки-уплотнители.....	60
5.1.3. Иловые площадки с отстаиванием и поверхностным удалением иловой воды.....	61
5.2. Обезвоживание в искусственных условиях.....	63
5.2.1. Вакуум-фильтры.....	64
5.2.2. Фильтр-прессы.....	69
5.2.3. Центрифуги.....	72
Глава 6. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ОСАДКОВ.....	75
6.1. Дегельментизация обезвоженных осадков.....	75
6.2. Термическая сушка осадков.....	76
6.3. Сжигание осадков.....	78
Глава 7. РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ.....	80
7.1. Аэротенки-вытеснители без регенерации.....	80
7.2. Аэротенки вытеснители с регенерацией.....	85
7.3. Аэротенки-смесители без регенерации.....	88
7.4. Аэротенки-смесители с регенерацией.....	90
7.5. Высоконагружаемые биофильтры без регенерации.....	92
7.6. Расчет высоконагружаемых биофильтров с рециркуляцией.....	94
7.7. Расчет реактивной системы орошения биофильтра.....	95
7.8. Вторичные отстойники, расположенные после аэротенков.....	97
7.9. Вторичные отстойники, расположенные после биофильтров.....	98
Глава 8. РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ ПО ДООЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД.....	100
8.1. Барабанные сетки.....	100
8.2. Микрофильтры.....	102
8.3. Зернистые фильтры.....	103
Глава 9. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ И ВЫПУСК ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД.....	105
9.1. Обеззараживание очищенных сточных вод.....	105
9.2. Выпуск очищенных сточных вод.....	108
Глава 10. ПРИЕМНАЯ КАМЕРА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ. ПРОВЕРКА РАБОТЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ.....	110
10.1. Приемная камера очистных сооружений.....	110
10.2. Проверка работы очистных сооружений.....	111
Список литературы.....	114