

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Кудрявцев Федор Львович ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО

Образования Министерства сельского хозяйства Российской Федерации

Должность: Проректор по образовательным делам

Дата подписания: 13.12.2024  
**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Уникальный программный ключ:  
790a1a8df2525774421adc1fc96453f0e902bfb0

**НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА ИМЕНИ В.И. ВЕРНАДСКОГО»**

**(Университет Вернадского)**

**Факультет Энергетики и ТС**

**УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРИРОДНЫХ И  
ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ И ЗАДАНИЯ  
ДЛЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

Направление подготовки 20.03.02 Природообустройство и водопользование

Профиль «водоснабжение и водоотведение»

Форма обучения заочная

Квалификация бакалавр

Балашиха 2024

Составил: доцент. кафедры Природообустройства и водопользования

Заикина И.В.

Рецензент: зав. кафедры Природообустройства и водопользования

Тетдоев В.В.

# Раздел 1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

## 1.1. Цели и задачи дисциплины

**Цели и задачи дисциплины:** получение навыков проектирования сооружений по очистке природных и сточных вод, анализа работы сооружений очистки с оценкой достоинств и недостатков рассматриваемых конструкций.

В результате изучения дисциплины студент должен:

**знать:**

- методы оценки качества природных вод;
- требования водопользователей к качеству воды;
- методы подготовки воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения, технологических и сельскохозяйственных нужд;
- методы и сущность процессов осветления и обесцвечивания природной воды;
- методы обеззараживания воды, удаления запахов и привкусов;
- методы улучшения качества воды;
- состав и свойства сточных вод;
- методы механической и биологической очистки сточных вод;
- методы обеззараживания сточных вод;
- методы обработки, обезвоживания и использования осадка;
- типы и конструкции применяемых сооружений при водоподготовке и очистке сточных вод, основы их расчета;
- общие схемы станций водоподготовки и очистки сточных вод;

**уметь:** выбрать способы обработки природной или сточной воды и состав основных сооружений водоочистой станции в зависимости от её производительности и качества исходной воды;

**владеть:**

- навыками самостоятельного анализа состояния источника водоснабжения или качественного состава и концентрации загрязнений сточной воды;
- навыками принятия решения о целесообразности применения определенных методов очистки природных или сточных вод.

## Раздел 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

### 2.1. Общие указания по выполнению курсовой работы

Курсовая работа выполняется по разделу «Очистка сточных вод» и позволяет закрепить знания студентов по одной из наиболее ответственных дисциплин учебной программы.

Работа выполняется в соответствии с заданием согласно исходным данным, определяемым по двум последним цифрам шифра и указанным в таблицах 1, 2. Например, исходные данные для студента с учебным шифром 2489 находятся на строке с порядковым номером 40 таблицы 1 и в графе для нечетных (по последней цифре шифра) вариантов таблицы 3. Курсовую работу студент выполняет самостоятельно в межсессионный период, при необходимости обращается за методической помощью и консультацией на кафедру. Во время ЛЭС защищает работу перед комиссией, в состав которой входят преподаватели кафедры.

Таблица 1

**Исходные данные для расчета**

№ п.п	Две последние цифры шифра	Производительность очистной станции (расход сточных вод) д. тыс. м <sup>3</sup> /сут	Характеристика исходной воды		Характеристика обработанной воды		Расход воды в реке Q <sub>р</sub> , м <sup>3</sup> /с
			Взвесь С <sub>еп</sub> мг/л	БПК <sub>полн</sub> L <sub>а</sub> мг/л	Взвесь С <sub>ех</sub> мг/л	БПК <sub>полн</sub> L <sub>т</sub> мг/л	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	00,50	45,0	210	300	15,0	15,0	60
2	01,51	61,0	200	370	10,0	10,0	60
3	02,52	61,0	200	160	15,0	15,0	70
4	03,53	70,0	210	290	7,0	7,0	75
5	04,54	44,0	190	290	6,0	6,0	50
6	05,55	61,0	220	360	12,0	5,0	70
7	06,56	35,0	310	270	12,0	12,0	42
8	07,57	60,0	230	350	6,0	5,0	75
9	08,58	70,0	260	180	7,0	6,0	77
10	09,59	70,0	240	210	6,0	8,0	76
11	10,60	26,0	260	230	3,0	2,0	28
12	11,61	70,0	250	180	11,0	11,0	50
13	12,62	70,0	210	190	6,0	6,0	74
14	13,63	60,0	260	250	4,0	4,0	73
15	14,64	70,0	200	190	6,0	8,0	82
16	15,65	70,0	270	170	10,0	10,0	61
17	16,66	69,0	260	150	4,0	10,0	68
18	17,67	60,0	280	210	5,0	13,0	62
19	18,68	78,0	280	180	3,0	3,0	67
20	19,69	70,0	290	230	4,0	4,0	61
21	20,70	22,0	280	260	7,0	5,0	26

22	21,71	70,0	400	150	10,0	10,0	72
23	22,72	52,0	210	240	4,0	5,0	58
24	23,73	60,0	500	190	8,0	8,0	78
25	24,74	44,0	230	220	5,0	5,0	50
26	25,75	70,0	320	200	10,0	10,0	55
27	26,76	87,0	250	150	15,0	15,0	62
28	27,77	70,0	180	160	10,0	10,0	60
29	28,78	77,0	340	180	6,0	5,0	85
30	29,79	78,0	250	230	15,0	16,0	72
31	30,80	18,0	290	250	7,0	5,0	25
32	31,81	58,0	260	270	15,0	15,0	64
33	32,82	70,0	210	170	7,0	7,0	62
34	33,83	70,0	240	150	9,0	8,0	57
35	34,84	18,0	260	310	6,0	6,0	24
36	35,85	70,0	180	240	3,0	3,0	59
37	36,86	52,0	270	230	6,0	5,0	58
38	37,87	70,0	210	360	3,0	4,0	68
39	38,88	58,0	300	290	5,0	5,0	64
40	39,89	70,0	210	190	11,0	11,0	59
41	40,90	60,0	290	240	8,0	7,0	60
42	41,91	22,0	220	200	7,0	7,0	28
43	42,92	70,0	450	250	6,0	5,0	63
44	43,93	26,0	230	210	8,0	7,0	32
45	44,94	78,0	280	220	3,0	3,0	56
46	45,95	70,0	240	160	4,0	4,0	57
47	46,96	70,0	210	230	10,0	10,0	55
48	47,97	61,0	250	340	8,0	4,0	75
49	48,98	18,0	270	280	6,0	6,0	24
50	49,99	70,0	260	270	15,0	10,0	69

Курсовая работа состоит из расчетно-пояснительной записки, обосновывающей принятые решения, и графической части.

Пояснительная записка может быть написана от руки (30 – 40 страниц) или отпечатана (20 – 30 страниц) на стандартных листах писчей бумаги формата А4 (297×210) с соблюдением полей: с левой стороны 30 мм, с правой 10 мм, сверху и снизу по 15 мм. Форматирование текста: шрифт – Times New Roman; размер шрифта – 14 (для таблиц 12); начертание – обычный шрифт; интервал – одинарный или полупетельный, отступ – 1,27 см; номера страниц – вверху справа. Титульный лист включается в общую нумерацию, но номер на нем не ставится.

Текст основной части делится на разделы, подразделы, пункты. Заголовки разделов пишутся симметрично тексту прописными буквами, заголовки подразделов и пунктов – строчными буквами (кроме первой прописной). Текст должен быть написан четко, ясно, грамотно, с соблюдением научно-технической терминологии. Обязательна ссылка на нормативно-справочную, техническую и проч. литературу: в тексте в прямых скобках приводится номер данного издания, соответствующий его номеру в списке

использованной литературы. Например, «... состав, организационные основы отрасли подробно рассмотрены в работе С. Л. Озиранского [9]». Рисунки, схемы, графики, чертежи в тексте выполняются простым карандашом или черной тушью на чертежных листах или миллиметровой бумаге формата А4.

Таблица 2

### Исходные данные

Показатели	Последняя цифра шифра	
	Четная	Нечетная
1	2	3
Река	Большая	Малая
Назначение водоема	Для питьевых и культурно-бытовых целей	Для рыбохозяйственных целей
Категория (вид) водоема	Для вариантов с номерами от 00 до 24, 50 до 74 – I категория, от 25 до 49, 75 до 99 – II категория	Для вариантов от 00 до 24, 50 до 74 – I категория, от 25 до 49, 75 до 99 – II категория
Содержание взвешенных веществ в воде водоема до спуска сточных вод $b$ , мг/л	7	10
Содержание растворенного кислорода в природной воде до места выпуска сточной воды $O_p$ , мг/л	6.5	7.5
БПК <sub>полн</sub> речной воды, $L_p$ , мг/л	2	2.5
Среднегодовая температура воздуха $T$ , °C	7,6	6.9
Среднезимняя температура сточной воды $T_3$ , °C	12	14
Среднемесячная температура сточных вод за летний период $T_l$ , °C	20	20
Гидравлическая крупность песка расчетного диаметра, мм/с	18	18,7

### План расчетно-пояснительной записки

Титульный лист.

Оглавление.

Введение.

Пишется индивидуально для каждой работы в объеме 1-2 страниц. Необходимо указать роль сооружений по очистке сточных вод в общей системе экологической безопасности и четко сформулировать задачи, которые решаются в данной курсовой работе.

Возможно раскрытие следующих вопросов: значение воды в природе и жизни человека; антропогенное воздействие на водные объекты; водные ресурсы и водное хозяйство России; современные проблемы охраны

окружающей среды, разработка методов и сооружений по очистке производственных и городских сточных вод и т. д.

1. Определение степени очистки сточных вод.

2. Обоснование и выбор метода очистки.

3. Выбор состава очистных сооружений. Технологическая схема очистки сточных вод.

4. Расчет и описание сооружений очистной станции.

5. Выпуск сточных вод в водоем.

Заключение.

Список использованных литературных источников (оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1 – 84 «Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления»).

Графическая часть работы выполняется на листе чертежной бумаги формата А1 (594X841) карандашом или черной тушью. Графическое изображение проекций, обозначения, шрифты должны соответствовать правилам черчения, изложенным в «Единой системе конструкторской документации» (ЕСКД). На чертежах указываются размеры и делаются поясняющие надписи. Размеры проставляются обязательно в одинаковых единицах измерения: в планах и разрезах – в миллиметрах, на генеральных планах – в метрах с точностью до 0,1, высотные отметки – в метрах с точностью до 0,01. Лист должен иметь рамку, отстоящую от левого края на 20 мм, от остальных – на 5 мм. В правом нижнем углу вычерчивается штамп. Над штампом, в полосе, равной его ширине, даются таблицы: экспликация сооружений, условные обозначения, спецификация материалов, оборудования с необходимыми примечаниями.

План, продольный и поперечный разрезы одного из сооружений, обоснованного соответствующими расчетами в пояснительной записке и согласованного с преподавателем, выполняется в масштабе 1:20, 1:50 или 1:100 в зависимости от размеров сооружения и исходя из того, чтобы чертеж не занимал больше одного стандартного листа.

## **2.2. ЗАДАНИЯ ДЛЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

### **2.2.1. *Определение степени очистки сточных вод***

Степень очистки сточных вод, сбрасываемых в водные объекты, должна отвечать требованиям «Правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами». Необходимую степень очистки сточных вод находят по следующим показателям: количество взвешенных веществ, потребление растворенного кислорода, допускаемая БПК смеси речных и сточных вод, изменение активной реакции воды, а также предельно допустимые концентрации токсических примесей и других вредных веществ. Правилами охраны поверхностных вод установлены два вида нормативного качества

воды: для водоемов питьевого и культурно-бытового водопользования и для водоемов, используемых в рыбохозяйственных целях. В свою очередь, водоемы питьевого и культурно-бытового пользования делятся на два вида: участки, используемые для питьевого водоснабжения, а также водоемы в черте населенных мест, и водные бассейны, используемые для купания, спорта и отдыха населения. Водоемы для рыбохозяйственных целей также подразделяются на два вида: первый – водоемы, используемые для воспроизводства и сохранения ценных пород рыб, второй – водоемы, используемые для других рыбохозяйственных целей.

Общие требования к составу и свойствам воды водоемов, необходимые для расчетов, приведены в таблице 3.

Таблица 3

**Требования к составу и свойствам воды водоемов**

Тип водопользования	Категория (вид) водоема	Показатели состава и свойств воды водоема			
		Повышение содержания взвешенных веществ $p$ , мг/л	Растворенный кислород $O_p$ , мг/л, не менее	БПК <sub>полн</sub> при $t = 20^\circ\text{C}$ $L_p$ , мг/л, не более	pH
Водоемы питьевого и культурно-бытового назначения	I	0,25	4	3	6,5-8,5
	II	0,75	4	6	6,5-8,5
Водоемы рыбохозяйственного назначения	I	0,25	6	3	6,5-8,5
	II	0,75	4	3	6,5-8,5

Предельно допустимое содержание взвешенных веществ в сбрасываемых сточных водах определяется по формуле:

$$m = p \cdot (\alpha Q_p / q + 1) + b$$

где  $m$  – предел допустимого содержания взвешенных веществ в сточных водах, допустимых к спуску в водоем, мг/л;

$p$  – допустимое санитарными нормами увеличение содержания взвешенных веществ в водоеме после спуска сточных вод, мг/л (в зависимости от назначения водоема принимают  $p = 0,25$  мг/л или  $p = 0,75$  мг/л);

$\alpha$  – коэффициент смешения (для малых рек  $\alpha = 0.75 \dots 0.8$ ; для больших  $\alpha = 0,25 \dots 0,3$ );

$Q_p$  – наименьший среднемесячный расход воды в реке 95% обеспеченности, м<sup>3</sup>/с;

$q$  – расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с;

$b$  – содержание взвешенных веществ в водоеме до спуска в него сточных вод, мг/л.

Степень очистки по взвешенным веществам определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{взв} = [(C_{en} - m)/C_{en}] \cdot 100\%$$

где  $C_{en}$  – количество взвешенных веществ в сточной воде до очистки, мг/л.

Необходимая степень очистки сточных вод по растворенному кислороду в воде водоема может быть определена по формуле:

$$L_{CT} = \frac{\alpha Q_p}{0,4q} \cdot (O_p - 0,4L_p - O) - \frac{O}{0,4}$$

где  $L_{CT}$  – допустимая величина БПК<sub>полн</sub> сточных вод при спуске в водоем, мг/л;

$Q_p$  – расход воды в реке, м<sup>3</sup>/с;

$O_p$  – содержание растворенного кислорода в речной воде до места спуска сточных вод, г/м<sup>3</sup>;

$q$  – расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с;

$L_p$  – БПК<sub>полн</sub> речной воды, г/м<sup>3</sup>;

$\alpha$  – коэффициент смешения;

$O$  – минимальное содержание кислорода в воде, принимаемое равным 6 или 4 г/м<sup>3</sup> (6 г/м<sup>3</sup> для рыбохозяйственных и 4 г/м<sup>3</sup> для всех остальных водоемов).

Необходимая степень очистки по БПК<sub>полн</sub>,  $\mathcal{E}$ , %, определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = [(L_a - L_{CT})/L_a] \cdot 100\%$$

где  $L_a$  – БПК<sub>полн</sub> сточных вод, поступающих на очистку.

**Пример.** Найти необходимую степень очистки сточных вод при следующих исходных данных: расход воды в реке  $Q_p = 70$  м<sup>3</sup>/с, река малая. Средний расход сточных вод  $q_{cp} = 0,7$  м<sup>3</sup>/с. Концентрация взвешенных веществ в сточных водах, поступающих на очистную станцию  $C_{en} = 200$  мг/л. Участок водоема, в который сбрасываются очищенные сточные воды, относится к I категории водоемов рыбохозяйственного назначения. Содержание взвешенных веществ в воде водоема до спуска сточных вод  $b = 10$  мг/л. Содержание растворенного кислорода в природной воде до места выпуска сточной воды  $O_p = 7,5$  мг/л, БПК<sub>полн</sub> сточной воды  $L_a = 357$  мг/л, БПК<sub>полн</sub> речной воды  $L_p = 2,5$  мг/л.

Для данного участка водоема допускаемое увеличение содержания взвешенных веществ  $p = 0,25$  мг/л.

Предельно допустимое содержание взвешенных веществ в спускаемых в водоем сточных водах вычисляем по формуле:

$$m = p \times (\alpha Q_p / q_{cp} + 1) + b = 0,25 \times (0,75 \times 70 / 0,7 + 1) + 10 = 29 \text{ мг/л.}$$

Степень очистки по взвешенным веществам определяем по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{взв}} = [(C_{\text{ен}} - m) / C_{\text{ен}}] \times 100\% = [(200 - 29) / 200] \times 100\% = 85,5\%.$$

Предельно допустимую концентрацию растворенного кислорода вычисляем по формуле:

$$L_{CT} = \frac{\alpha Q_p}{0,4q} \cdot (O_p - 0,4L_p - O) - \frac{O}{0,4} = \frac{0,7570}{0,40,7} \cdot (7,5 - 0,4 \cdot 2,5 - 6) - \frac{0,6}{0,4} = 78,75 \text{ мг/л}$$

Необходимую степень очистки по БПК<sub>полн</sub> определяем по формуле:

$$\mathcal{E} = [(L_a - L_{CT}) / L_a] \cdot 100\% = [(357 - 78,75) / 357] \cdot 100\% = 78\%$$

### 2.2.2. Обоснование и выбор метода очистки

На основании вычисленной необходимой степени очистки сточных вод для определения метода очистки можно пользоваться данными таблицы 4.

Сооружения механической очистки предназначены для задержания нерастворенных примесей. К ним относятся решетки, песколовки, отстойники и фильтры различных конструкций. Они являются, как правило, предварительной стадией перед биологической очисткой и задерживают около 60 % нерастворенных загрязнений.

Биологическая очистка сточных вод основана на жизнедеятельности микроорганизмов, которые окисляют растворенные и нерастворенные органические соединения, являющиеся для микроорганизмов источниками питания. Сооружения этого метода условно могут быть разделены на два вида: сооружения, в которых процесс биологической очистки протекает в условиях, близких к естественным (поля фильтрации, биологические пруды), и сооружения, в которых очистка протекает в искусственно созданных условиях (биофильтры, аэротенки).

Таблица 4

#### Методы и степень очистки сточных вод

№ п.п.	Метод очистки	Требуемая степень очистки по взвешенным веществам $\mathcal{E}_{\text{взв}}$ , %	Требуемая степень очистки по БПК <sub>полн</sub> , $\mathcal{E}$ , %
1	Механический	40 – 60	20 – 40
2	Механический и биологический	60 – 80	40 – 80
3	Механический, биологический и доочистка (в биологических	Более 80	Более 80

	прудах или на фильтрах)		
--	-------------------------	--	--

Доочистка сточных вод может потребоваться, если в сточной воде после полной биологической очистки и перед сбросом в водоем необходимо снизить концентрацию загрязнений по взвешенным веществам, БПК, ХПК и др. Широко используется фильтрация через фильтры различных конструкций, коагуляционные и сорбционные установки, озонаторные установки в сочетании с фильтрами и проч.

Дезинфекция сточных вод является заключительным этапом их обработки перед сбросом в водоем. Наибольшее распространение получил способ дезинфекции сточных вод путем введения в воду газообразного хлора или хлорной извести. Применяются также электролизные установки для получения гипохлорита натрия из технической поваренной соли и введения его в воду. Возможно обеззараживание сточных вод озоном.

Обработка осадков сточных вод, образующихся в процессе их очистки, заключается в уменьшении их влажности и объема, стабилизации, обеззараживании и подготовке к утилизации.

### ***2.2.3. Выбор состава очистных сооружений.***

#### ***Технологическая схема очистки сточных вод***

Состав сооружений следует выбирать в зависимости от характеристики и количества сточных вод, поступающих на очистку, требуемой степени их очистки, метода обработки осадка и местных условий (наличие достаточных площадок, характер грунтов, положение уровня грунтовых вод и т.д.).

Определяя состав сооружений, нужно принимать во внимание также условия подачи сточных вод на очистную станцию. При перекачке сточных вод на очистные сооружения необходимо устраивать перед ними приемную камеру, из которой сточная вода уже самотеком будет поступать на очистку и пройдет весь комплекс сооружений.

При повышенных требованиях к степени очистки сточных вод в составе очистных сооружений следует предусматривать сооружения для доочистки биологически очищенных стоков. Для этого применяют аэрируемые пруды, многослойные песчаные фильтры и другие сооружения. Очищенные и обеззараженные бытовые воды отводятся в водоем. Если есть возможность использовать их для технических целей промышленных предприятий, то этот вопрос должен быть рассмотрен.

Примерный состав сооружений для проекта приведен в таблице 5.

## Примерный состав сооружений

№ п/п	Метод очистки	Наименование сооружений	Производительность очистной станции q, тыс. м <sup>3</sup> /сут.		
			до 30	до 50	более 50
1	2	3	4	5	6
1	Механический	Решетки	+	+	+
2		Песколовки:			
		горизонтальные	+	+	+
		с круговым движением воды	+	+	+
		тангенциальные		+	+
		аэрируемые	+	+	+
3		Отстойники:			
		вертикальные	+	-	-
		горизонтальные	+	+	+
		радиальные	+	+	+
1	Биологический	Башенные биофильтры	+	+	-
2		Аэротенки	+	+	+
3		Аэрофильтры	+	+	-
1	Глубокая очистка и обеззара	Фильтры с зернистой загрузкой	+	+	+
2		Биореакторы	+	+	+
3		Хлораторные установки	+	+	+
1	Обработка и утилизация осадков сточных вод	Илоуплотнители	+	+	+
2		Метантенки	+	+	+
3		Аэробные стабилизаторы	+	+	-
4		Песковые бункера	+	+	-
5		Песковые площадки	+	+	+
6		Вакуум-фильтры	-	+	+
7		Центрифуги	+	+	+
8		Иловые площадки	+	+	+

Примечание: + рекомендуется применять; - не рекомендуется.

Пример технологической схемы очистной станции с биологической очисткой сточных вод в аэротенках приведен на рисунке 1.

Сточная вода, поступающая на очистную станцию, проходит через решетку, устанавливаемую для задержания крупных нерастворенных загрязнений органического и минерального происхождения, затем через песколовку, предназначенную для улавливания примесей минерального происхождения (главным образом, песка), отстойники, в которых выделяются

осаждающиеся и всплывающие органические вещества. Сырой осадок из первичного отстойника направляется в метантенк.

Биологическая очистка сточных вод по этой схеме осуществляется в аэротенке. Аэротенк представляет собой открытый резервуар, в котором медленно движется смесь активного ила и очищаемой осветленной сточной воды, поступающей из первичного отстойника. Активный ил представляет собой биоценоз микроорганизмов-минерализаторов, способных сорбировать на своей поверхности и окислять в присутствии кислорода воздуха растворенные и нерастворенные органические вещества сточной воды. Для нормальной жизнедеятельности микроорганизмов-минерализаторов в аэротенк должен непрерывно поступать воздух, который подается воздуходувками, установленными в машинном здании. Смесь сточной воды и активного ила (иловая смесь) из аэротенка направляется во вторичный отстойник, где активный ил выделяется из помпой воды путем отстаивания, и основная его масса возвращается в аэротенк. В системе аэротенк — вторичный отстойник масса активного ила увеличивается за счет его прироста (размножения), поэтому часть его (избыточный активный ил) удаляется из вторичного отстойника и подается в илоуплотнитель, где за счет осветления и гравитационного уплотнения объем ила уменьшается в 4 - 6 раз, а уплотненный избыточный ил перекачивается в метантенк для сбраживания.

Очищенная сточная вода обеззараживается (обычно хлорируется) в контактном резервуаре и сбрасывается в водоем. В метантенке под действием анаэробных микроорганизмов происходит распад или сбраживание органической части сырого, осадка и уплотненного избыточного активного ила, т.е. их минерализация. Сброженный осадок из метантенков, как правило, направляется на механическое обезвоживание на вакуум-фильтрах, фильтр-прессах или центрифугах. Обезвоженный осадок может подвергаться термической сушке и использоваться в качестве удобрения.

Технологические схемы очистной станции с биологической очисткой сточных вод на биофильтрах приведены в литературе [2,7]. В курсовой работе следует привести схему очистки и дать подробное описание работы очистной станции по указанной схеме.

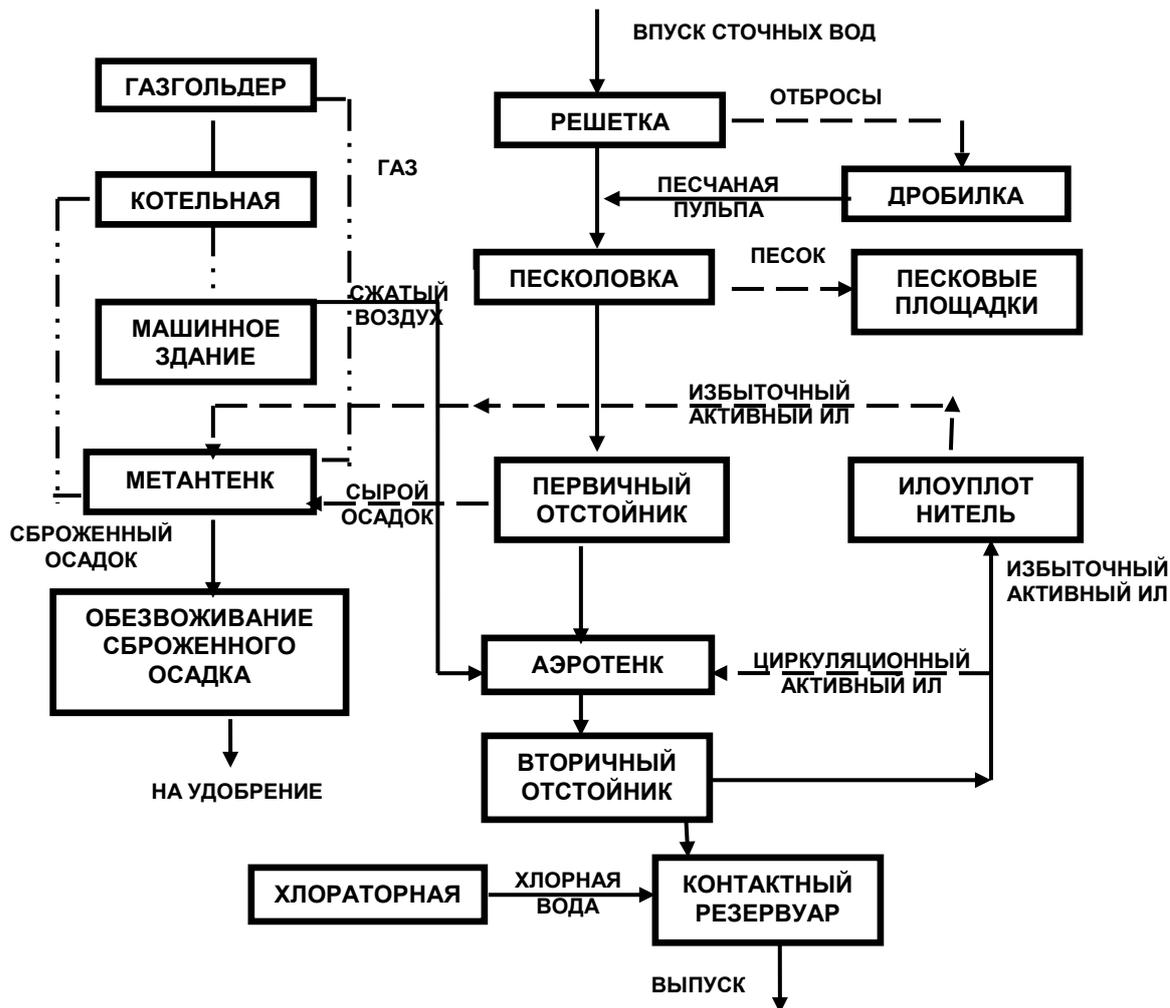


Рис. 1. Технологическая схема очистной станции с биологической очисткой сточных вод в аэротенках

### 3.2.4. Расчет и описание сооружений очистной станции

В курсовой работе необходимо произвести расчет основных сооружений очистки, обеззараживания и обработки осадка сточных вод:

- решеток;
- песколовок;
- отстойников;
- аэротенков (или биофильтров);
- хлораторных установок;
- метантенков.

Расчет очистных сооружений производится в соответствии с требованиями СНИП 2.04.03-85 и разработками, приводимыми в специальной литературе [2, 3, 7, 10, 15].

Все сооружения очистной станции, согласно технологической схеме очистки (как принятые к расчету, так и без расчета), должны быть описаны по следующему плану: назначение, конструктивные особенности, принцип действия, технические характеристики, условия эксплуатации, преимущества и недостатки.

При описании составляются схемы сооружений (решеток, песколовок, песковых площадок, отстойников, аэротенков, биореакторов, иловых площадок, вакуум-фильтров и т. д.).

Рассмотрим расчет некоторых сооружений.

### 1. Решетки

Решетки устанавливают на всех очистных станциях независимо от способа подачи на них сточных вод – самотеком или под напором. Согласно СНиП 2.04.03–85 п. 6.16 следует предусматривать решетки с прозорами не более 16 мм, со стержнями прямоугольной формы размерами 10×40 и 8×60 мм. Реже используют стержни круглой формы. Скорость протока сточных вод между стержнями решетки не должна превышать 1 м/с во избежание продавливания отбросов. Площадь прозоров рабочей части решетки определяют расчетом, но она должна быть не менее удвоенной площади живого сечения подводящего канала при ручной очистке и не менее 1,2 живого сечения при механической очистке.

Для удобства очистки решетки устанавливают под некоторым углом к горизонту – от 45 до 90°, но чаще всего применяют угол 60°.

Количество отбросов, задерживаемых на решетках, равно 16 – 50 л на 1000 м<sup>3</sup> очищенной воды.

Механизованная очистка решеток от отбросов и транспортирование их к дробилкам должны быть предусмотрены при количестве отбросов 0,1 м<sup>3</sup>/сут. и более. При меньшем количестве отбросов допускается установка решеток с ручной очисткой. Число решеток и решеток-дробилок, скорости протекания жидкости в прозорах, нормы съема отбросов, расстояние между устанавливаемым оборудованием следует определять согласно СНиП 2.04.03-85, пп. 5.12-5.16 [15].

Для обеспечения высокой надежности работы очистных станций дополнительно следует устанавливать резервные решетки. Количество их рекомендуется принимать в зависимости от количества рабочих решеток (табл. 7).

Таблица 6

**Количество резервных решеток**

№ п.п.	Тип решетки	Количество решеток	
		Рабочих	резервных
1	С механизированными граблями и прозорами шириной, мм		
		более 20	1
		16 – 20	1 – 3; >3
2	Решетки-дробилки, устанавливаемые:		
		на трубопроводах	1 – 3
		на каналах	1 – 3; >3
			1 (с ручной очисткой)
			1; 2

Промышленность выпускает решетки и сита марок МГ (механические грабли), РМН (решетки механизированные наклонные), РДГ (решетка дуговая гидравлическая), РСФ-01 (решетка ступенчатая механическая), СЗС (плоское щелевое сито), решетки-дробилки типа РД и КРД и др. Технические характеристики решеток типа МГ приведены в таблице 8, остальных – в специальной литературе [2, 3, 4, 10, 15].

Таблица 7

**Основные показатели механизированных решеток типа МГ**

Марка	Размер канала В×Н, м	Ширина канала А, м	Число прозоров	Толщина стержней, мм	Радиус поворота R, м	Масса агрегата, кг
МГ 5Т	2×3	2,3	84	8	3,8	2691
МГ 6Т	2×2	2,3	84	8	2,85	2129
МГ 7Т	0,8×1,4	0,95	31	8	2,1	1342
МГ 8Т	1,4×2	1,6	55	8	2,85	1828
МГ 9Т	1×1,2	1,15	39	8	2,05	–
МГ 10Т	1×2	2	39	8	2,85	–
МГ 11Т	1×1,6	1,2	39	8	2,425	–
МГ 12Т	1,6×2	1,8	64	8	2,85	–

**Пример.** Определить размеры решеток и количество улавливаемых загрязнений для очистной станции с производительностью  $q = 120000 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

Средний секундный расход  $q_{\text{ср}}$  составляет  $1,39 \text{ м}^3/\text{с}$ . Общий коэффициент неравномерности водоотведения  $K_{\text{об макс}} = 1,47$  (п. 2.2 [15]), тогда

$$q_{\text{макс}} = q_{\text{ср}} \cdot K_{\text{макс}} = 1,39 \cdot 1,47 = 2,04 \text{ м}^3/\text{с}$$

Этот расход является расчетным для решеток.

Принимаем глубину воды в камере решетки  $h_l = 1,5 \text{ м}$ , среднюю скорость воды в прозорах между стержнями  $v_p = 1 \text{ м/с}$  и ширину прозоров  $b = 0,016 \text{ м}$ , количество прозоров решетки определяем по формуле:

$$n = \frac{q_{\text{макс}}}{b \cdot h_l \cdot v_p} \cdot k_3 = \frac{2,04}{0,016 \cdot 1,5} \cdot 1,05 = 89,25 \approx 89$$

( $k_3$  – коэффициент, учитывающий стеснение прозоров граблями и задержанными загрязнениями).

Принимаем толщину стержней решетки  $s = 0,008 \text{ м}$ . Ширину решеток находим по формуле:

$$B = s \cdot (n - 1) + b \cdot n = 0,008 \cdot (89 - 1) + 0,016 \cdot 89 = 2,13 \text{ м}.$$

Принимаем две решетки, ширину каждой из которых определяем по формуле:

$$B_1 = B/N = 2,13/2 = 1,065 \text{ м.}$$

В соответствии с выполненными расчетами выбираем типовую решетку МГ10Т со следующими данными: размеры камеры перед решеткой  $B \times H = 1000 \times 2000$ ; число прозоров  $n = 39$ ; угол наклона решетки к горизонту  $\alpha = 60^\circ$ . Перепад между дном камеры до и после решетки  $Z_1 - Z_2 = 0,1$  м.

Проверяем скорость воды в прозорах решетки.

При принятых размерах она будет:

$$v_p = \frac{q_{\max} \cdot k_z}{N \cdot b \cdot h \cdot n} = \frac{2,04 \cdot 1,05}{2,001 \cdot 1,539} = 1,14 \text{ м/с}$$

Вычисляем длину камеры решетки:  $l_p = l_1 + l_2 = 1,2 + 0,8 = 2,0$  м (величины  $l_1$  и  $l_2$  приняты конструктивно). Отметка уровня воды  $Z_3 = Z_1 + h_1 = 0,1 + 1,5 = 1,6$  м.

Для определения отметки уровня воды в канале после решетки  $Z_4$  составим уравнение Бернулли для двух сечений: перед решеткой и после решетки относительно плоскости, проходящей по дну камеры решетки (после решетки):

$$Z_1 + p_1/\gamma + v_1^2/2g = Z_2 + p_2/\gamma + v_2^2/2g + h_m$$

где  $h_m$  – местные потери напора:

$$h_m = p \zeta v^2 / 2g$$

$\zeta$  – коэффициент местного сопротивления:

$$\zeta = \beta \cdot (s/b)^{3/4} \sin \alpha$$

где  $\beta$  – коэффициент, равный 2,42 для прямоугольных стержней;

$$\zeta = 2,42 (0,008/0,016)^{3/4} \sin 60^\circ = 0,836;$$

$v$  – скорость движения воды в камере перед решеткой;

$g$  – ускорение свободного падения;

$p$  – коэффициент, учитывающий увеличение потерь напора вследствие засорения решетки, принять  $p = 3$ .

С учетом принятых обозначений и условий получаем:

$$Z_1 = 0,1 \text{ м, } Z_2 = 0 \text{ м, } p_1/\gamma = h_1 = 1,5 \text{ м, } p_2/\gamma = h_2,$$

$$v_1 = q_{\max} / (N \cdot B_k \cdot h_1) = 2,04 / (1 \cdot 1 \cdot h_2) = 1,02/2$$

Запишем уравнение Бернулли:

$$0,1 + 1,5 + \frac{0,58}{1,962} = h_2 \left( \frac{1,02}{h_2} \right)^2 \cdot \frac{1}{1,962} + 0,836 \cdot \frac{0,58}{1,962} \cdot 3$$

$$\text{или } h_2^3 - 1,57 h_2^2 + 0,053 = 0$$

Решив данное уравнение, получаем, что  $h_2 = 1,55$  м, следовательно,

$$Z_4 = 1,55.$$

Определим количество загрязнений, улавливаемых решетками.

Количество отбросов, снимаемых с решеток, имеющих ширину прозоров 16 мм, равно 8 л на человека в год. Принимая норму водоотведения  $n = 250$  л/чел, сут., определим приведенное число жителей:  $N_{пр} = Q/n = 120000 \cdot 1000/250 = 480000$  чел.

Объем улавливаемых загрязнений:

$$V_{сут} = \frac{N_{пр} \cdot 8}{1000 \cdot 65} = \frac{480000 \cdot 8}{1000 \cdot 65} = 1052 \text{ м}^3/\text{сут}$$

При их плотности  $\rho = 750$  кг/м<sup>3</sup> масса загрязнений составляет:

$$M = 10,52 \cdot 0,75 = 7,89 \text{ т в сутки.}$$

Для измельчения задерживаемых загрязнений принимаем две дробилки молоткового типа Д-3б (в том числе одну резервную) со следующими характеристиками: производительность 600 кг/ч, мощность электродвигателя 22 кВт.

## 2. Песколовки

В составе очистных сооружений за решетками проектируются песколовки – сооружения, предназначенные для выделения из сточных вод нерастворенных минеральных примесей (песка, шлака, боя стекла и т.д.). По направлению движения воды песколовки подразделяются на горизонтальные, вертикальные и с вращательным движением жидкости (тангенциальные и аэрируемые).

Песколовки необходимо проектировать при пропускной способности очистных сооружений более 100 м<sup>3</sup>/сут. Число песколовок или их отделений должно быть не менее двух [15]. Все они должны быть рабочими. Если для удаления осадка применяются скребковые механизмы, то желательно предусматривать резервную песколовку или отделение.

Аэрируемые песколовки используют станции производительностью более 2000 м<sup>3</sup>/сут., горизонтальные песколовки применяются при расходах более 10 000 м<sup>3</sup>/сут. Конструктивной разновидностью горизонтальных песколовок являются горизонтальные с круговым движением воды. Они имеют круглую форму в плане. Их рекомендуется применять при расходах до 50 000 м<sup>3</sup>/сут. Тангенциальные песколовки также имеют круглую форму в плане и рекомендуются для применения при расходах до 50 000 м<sup>3</sup>/сут. Вертикальные песколовки велики по размеру и работают неэффективно, поэтому их используют в исключительных случаях и при соответствующем обосновании. Расчет песколовок сводится к определению их размеров в зависимости от гидравлической крупности песка и принятого типа сооружения.

Горизонтальные и аэрируемые песколовки представляют собой прямоугольные в плане емкости.

В зависимости от принятой скорости движения сточных вод площадь живого сечения песколовки (или ее отделения) определяется по формуле:

$$W = \frac{q_{\max}}{vn}$$

где  $q_{\max}$  – максимальный расход сточных вод;  
 $n$  – число песколовок (отделений),  $n \geq 2$   
 $v$  – скорость движения сточных вод, м/с.

Скорость движения сточных вод для горизонтальных песколовок принимается 0,3 м/с, для аэрируемых песколовок 0,08 – 0,12 м/с.

Длина рабочей части песколовки вычисляется по формуле:

$$L = \frac{k \cdot h \cdot v}{u_0}$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий влияние турбулентности и других факторов и принимаемый в зависимости от типа песколовки по таблице 9;

$h$  – расчетная глубина песколовки, принимаемая для горизонтальных песколовок 0,25 – 2 м, для аэрируемых – половина общей глубины, которую рекомендуется принимать от 0,7 до 3,5 м;

$u_0$  – гидравлическая крупность песка, принимаемая для горизонтальных песколовок 18,7 – 24,2, для аэрируемых 13,2 – 18,7 мм/с.

Т а б л и ц а 8

**Расчетные параметры песколовок**

Диаметр задерживаемых частиц песка, мм	Гидравлическая крупность песка $u_0$ , мм/с	Значение $k$ в зависимости от типа песколовок и отношения $B/H$ (для аэрируемых песколовок)			
		горизонтальные песколовки	аэрируемые песколовки		
			$B/H = 1$	$B/H = 1,25$	$B/H = 1,5$
0,15	13,2	–	2,62	2,5	2,39
0,2	18,7	1,7	2,43	2,25	2,08
0,25	24,2	1,3	–	–	–

Размеры аэрируемой песколовки принимаются, исходя из рекомендуемого СНиП [15] отношения ширины отделения песколовки  $B$  к глубине воды  $H$ , равного 1 – 1,5.

Следует предусмотреть установку аэраторов (диаметр отверстий 3...5 мм) из дырчатых труб на 0,7 рабочей глубины вдоль одной из продольных стен над лотком для сбора песка, поперечный уклон дна к песковому лотку принимается 0,2...0,4, интенсивность аэрации не превышает 3...5 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч).

Постоянная скорость движения сточных вод на выходе из горизонтальных песколовок поддерживается с помощью водослива с широким порогом без донного выступа.

Перепад между дном песколовки и порогом водослива  $P$ , м, определяется по формуле:

$$P = \frac{h_{\max} - k^{2/3} h_{\min}}{k^{2/3} - 1}$$

где  $h_{\max}$ ,  $h_{\min}$  – глубины воды в песколовке, м, соответственно при  $q_{\max}$  и  $q_{\min}$ ;  
 $k$  – отношение максимального и минимального расходов.

Ширина водослива  $b_c$  вычисляется из соотношения

$$b_c = \frac{q_{\max}}{m \sqrt{2g \cdot (P + h_{\max})^{3/2}}}$$

где  $m$  – коэффициент расхода водослива, зависящий от условий бокового сжатия и равный 0,35 – 0,38.

Таблица 9

**Основные типоразмеры горизонтальных песколовок**

№ п.п.	Показатели	Производительность очистной станции, тыс. м <sup>3</sup> /сут				
		70	100	140	200	280
1	Расчетный расход, м <sup>3</sup> /с	0,97	1,36	1,87	2,68	3,76
2	Число песколовок $n$	2	3	4	3	4
3	Размеры песколовки:					
	сечение, м <sup>3</sup>	1,62	1,54	3,02	2,9	3,02
	длина, м, при гидравлической крупности частиц $u_0$ :					
	18,7	15,8	15,4	18,2	17,7	18,2
	24,2	13	12,4	16,3	15,6	16,3
	глубина, м	0,58	0,55	0,67	0,65	0,67
	ширина, м	3	3	3	4,5	4,5
4	Количество перекачиваемого в 1 сутки из песколовок осадка влажностью 60% ( $\gamma = 1.5 \text{ т/м}^3$ ):					
	в м <sup>3</sup>	3,2	4,5	6,4	9	12,8
	в т	4,8	6,8	9,6	13,6	19,2
5	Количество подаваемой в 1сут. рабочей жидкости, м <sup>3</sup>	160	225	320	450	640
6	Продолжительность хранения песка в бункерах емкостью 5 м <sup>3</sup> , сут., при установке:					
	2-х бункеров	3	2	–	–	–
	4-х бункеров	–	–	3	2	1,6

Расчет тангенциальных песколовок ведется по формуле:

$$F = q_{\max} / (n \cdot u_0)$$

где  $F$  – площадь отделения песколовки в плане;

$q_{\text{макс}}$  – максимальный расход сточных вод;  
 $n$  – число отделений;  
 $u_o$  – гидравлическая крупность песка расчетного диаметра.

Таблица 10

### Основные параметры аэрируемых песколовок

№ п.п.	Производительность очистной станции, тыс. м <sup>3</sup> /сут	Число отделений	Размеры отделений, м			Отношение $B/H$	Расход воздуха на аэрацию м <sup>3</sup> /ч, при интенсивности 3 м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·ч)
			ширина $B$	глубина $H$	длина $L$		
1	70	2	3	2,1	12	1,43	200
2	100	3	3	2,1	12	1,43	300
3	140	2	4,5	2,1	18	1,5	460
4	200	3	4,5	2,8	18	1,5	690
5	280	4	4,5	2,8	18	1,5	920

Кроме того, можно рассчитывать эти песколовки и по формуле:

$$F = q_{\text{макс}} \cdot (n \cdot q_o)$$

где  $q_o$  – нагрузка на песколовку по воде.

При расчете тангенциальных песколовок следует принимать: глубину, равной половине диаметра сооружения; расчетный диаметр песка 0,2 - 0,25 мм.

С учетом изложенного нагрузка на сооружение должна быть:

при  $u_o = 18,7$  мм/с,

$$q_o = 18,7 \cdot 3600 / 1000 = 67 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч});$$

при  $u_o = 24,2$  мм/с,

$$q_o = 24,2 \cdot 3600 / 1000 = 87 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч}).$$

На тангенциальные песколовки более совершенных конструкций допускается нагрузка  $q_o = 110 \dots 130 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ .

Удаление задержанного песка из песколовок всех типов допускается предусматривать вручную при его объеме 0,1 м<sup>3</sup>/сут. При большем объеме удаление песка из песколовок должно быть механизировано. Наиболее распространенным и надежным способом является удаление песка с помощью гидроэлеваторов. В аэрируемых песколовках для удаления песка используется гидромеханическая система. Более подробно об удалении песка изложено в специальной литературе [2,3,10,15].

### 3. Отстойники

Отстаивание является самым простым, наименее энергоемким и дешевым методом выделения из сточных вод грубодиспергированных примесей с плотностью, отличной от плотности воды. Под действием силы тяжести

частицы загрязнений оседают на дно сооружения или всплывают на его поверхность.

В зависимости от своего назначения и расположения в технологических схемах очистки сточных вод отстойники подразделяют на первичные и вторичные. Первичные располагаются в технологической схеме непосредственно за песколовками и предназначаются для выделения взвешенных веществ из сточной воды, что при достигаемом эффекте осветления 40 – 60% приводит также к снижению величины БПК в осветленной сточной воде на 20 – 40% от исходного значения. Чтобы избежать повышенного прироста избыточного активного ила в аэротенках и биопленки в биофильтрах, остаточная концентрация взвешенных веществ в осветленной сточной воде после первичных отстойников не должна превышать 100 – 150 мг/л. Если начальная концентрация взвешенных веществ в сточной воде составляет 300 – 500 мг/л, необходимо интенсифицировать процесс осаждения взвешенных веществ. Необходим выбор наиболее рациональной технологии первичного осветления и требуемой продолжительности отстаивания. С этой целью используют отдельно стоящие преаэраторы сточных вод с активным илом или встроенные в отстойники камеры биофлокуляции [2, 3, 10, 15].

Вторичные отстойники служат для осветления сточных вод, подвергшихся биохимической очистке в аэротенках и биофильтрах.

Исходные данные для проектирования отстойников:

– количество сточных вод и начальная концентрация в них взвешенных веществ  $C_{\text{вп}}$ , принимаемая по данным анализа сточных вод или по расчету;

– допустимая конечная концентрация  $C_{\text{ск}}$  взвешенных веществ в осветленной воде, принимаемая в соответствии с необходимой степенью очистки по взвешенным веществам и по типу сооружений биохимической очистки.

Тип отстойников принимается на основании принятой технологической схемы очистки сточных вод и обработки их осадка, производительности сооружений, очередности строительства, числа эксплуатируемых единиц, рельефа местности, геологических условий, уровня грунтовых вод.

Вертикальные отстойники целесообразно применять при производительности очистной станции до 20 000, м<sup>3</sup>/сут., горизонтальные – более 15 000 м<sup>3</sup>/сут., радиальные – более 20 000 м<sup>3</sup>/сут., осветлители со взвешенным слоем осадка применяются при производительности очистной станции до 100 000 м<sup>3</sup>/сут.

Первичные отстойники. При расчете горизонтальных отстойников вначале следует определить ширину отделений отстойника по формуле:

$$B = \frac{q_{\text{макс}}}{n \cdot H_1 \cdot v}$$

где  $q_{\text{макс}}$  – максимальный расход сточных вод;

$n$  – число отделений;

$H_1$  – глубина проточной части отстойника;

$v$  – средняя скорость потока в пределах рабочей длины отстойника.

Общую длину отстойника рекомендуется определять по зависимости:

$$L = \frac{vH}{K(u_0 - \omega)}$$

где  $u_0$  – условная гидравлическая крупность, соответствующая заданному эффекту осветления воды для реальных размеров сооружения и условий проектирования, определяется согласно положениям СНиП 2.04.03-85, п. 6.60;

$\omega$  – вертикальная турбулентная составляющая, определяемая по формуле  $\omega = 0,05v$ , где  $v$  – средняя скорость движения воды;

$K$  – коэффициент использования объема (см. п. 6.61 [15]).

Таблица 11

### Основные параметры первичных горизонтальных отстойников

№ п.п.	Расчетный объем отстойника, м <sup>3</sup>	Число отделений в типовой компоновке	Размеры отделений, м		
			ширина	длина	глубина отстаивания
1	1740	4	6	24	3,15
2	2610	6	6	24	3,15
3	3200	4	9	30	3,1
4	4800	6	9	30	3,1
5	6400	8	9	30	3,1

Диаметр радиального отстойника и отстойника с вращающимся сборно-распределительным устройством определяется по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{4q_{\max}}{\pi k n (u_0 - \omega)}}$$

Многочисленные исследования показали, что для радиальных отстойников обязательно соблюдение соотношения  $D/H_1 = 6...12$ . При средних рекомендуемых параметрах  $D/H_1 = 10$ ,  $H_1 = 3$  м,  $t = 1,25$  ч = 4500 с (время отстаивания). Тогда скорость на половине радиуса:

$$v = D/(2t) = 10H_1 / (2t) = (10 \cdot 3000) / (2 \cdot 4500) = 3,3 \text{ м/с,}$$

следовательно, в радиальных отстойниках скорость на половине радиуса при решении возможных в практике задач меньше рекомендуемых пределов.

Таблица 12

## Расчетные параметры первичных отстойников

№ п.п.	Отстойник	Коэффициент использования $k$	Рабочая глубина отстойной части $H_1$ , м	Ширина $B$ , м	Скорость потока $v$ , мм/с	Уклон дна $i$	Уклон наклона пластин $\alpha$ , град.
1	Горизонтальный	0,5	1,5–4	(2–5) $H$	5–10	0,005	–
2	Радиальный	0,45	1,5–5,5	–	5–10	0,05	–
3	Вертикальный	0,35	2,7–3,8	–	–	–	–
4	С вращающимся сборно-распределительным устройством	0,85	0,8–1,2	–	–	0,5	–
5	С нисходяще-восходящим потоком	0,65	2,7–3,8	–	(2–3) $u_0$	–	–
6	Тонкослойный:						
	противоточная и прямоточная схемы работы	0,5–0,7	0,025–0,2	2–6	–	–	45–60
	перекрестная схема	0,8	0,025–0,2	1,5	—	0,005	45–60

Диаметр радиального отстойника (см. формулу выше) определяется без учета глубины сооружения, поэтому при расчете вначале следует принять глубину  $H_1$ , а затем определить  $u_0$  и  $D$ . Если при этом отношение  $D/H_1$  будет отличаться от рекомендуемого, то расчет следует повторить при новом значении глубины  $H_1$ . Таким образом, расчет радиальных отстойников производится методом подбора.

Таблица 13

## Основные параметры первичных радиальных отстойников

№ п.п.	Расчетный объем отстойной воды, м <sup>3</sup>	Диаметр отстойника, м	Диаметр выпускного устройства, м	Глубина зоны отстаивания, м
1	788	18	1,4	3,1
2	1400	24	1,6	3,1
3	2190	30	1,8	3,1
4	4580	40	2	3,65
5	9220	50	2,6	4,7
6	10500	54	3	5,7

Вторичные отстойники. Все типы вторичных отстойников, устраиваемых после аэротенков, рекомендуется рассчитывать по нагрузке, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч), определяемой по формуле:

$$q = 4,5\eta \cdot H_1^{0,8} / (0,1a)^{0,5-0,01a}$$

где  $\eta$  – коэффициент использования объема зоны отстаивания: для радиальных отстойников равный 0,4; вертикальных – 0,35, горизонтальных – 0,45;

$I$  – иловый индекс, см<sup>2</sup>/г;

$a$  – концентрация активного ила в аэротенке, г/л;

$a_t$  – концентрация ила в осветленной воде, мг/л.

Вторичные отстойники после биологических фильтров рекомендуется рассчитывать по нагрузке, вычисляемой по выражению:

$$q = \eta \cdot u_0$$

где  $u_0$  – условная гидравлическая крупность биопленки, которая при полной биологической очистке равна 1,4 мм/с.

При определении площади отстойников следует учитывать и рециркуляционный расход.

**Пример.** Рассчитать горизонтальные отстойники для очистной станции производительностью 38 000 м<sup>3</sup>/сут. Содержание взвешенных веществ в воде  $C_{en} = 200$  мг/л.

Допустимое содержание взвешенных веществ после первичных отстойников и перед подачей на биофильтры или в аэротенки составляет 100—150 мг/л. Тогда требуемый эффект осветления воды

$$\Xi = [(C_{en} - C_t)/C_{en}] \cdot 100\% = [(200 - 140)/200] \cdot 100\% = 30\%$$

При  $q_{cp} = 0,44$  м<sup>3</sup>/с общий коэффициент неравномерности  $K_{об макс} = 1,51$  (см. п. 2.2 [15]). Тогда максимальный секундный расход будет:

$$q_{макс} = q_{cp} \cdot K_{об макс} = 0,44 \cdot 1,51 = 0,664 \text{ м}^3/\text{с}$$

Принимаем: среднюю скорость движения воды в отстойнике  $v = 5,0$  мм/с и глубину проточной части сооружения  $H_1 = 2,5$  м (см. п. 6. [15]), шесть отделений отстойника. При этом ширина каждого из них определяется по формуле:

$$B = \frac{q_{макс}}{n \cdot H_1 \cdot v} = \frac{0,664}{6 \cdot 2,5 \cdot 0,005} = 8,85 \text{ м}$$

Ширина отделений  $B = 9$  м. Скорость движения воды в отстойнике

$$v = \frac{q_{макс}}{n \cdot B \cdot H_1} = \frac{0,664}{6 \cdot 9 \cdot 2,5} = 0,004 \text{ м/с}$$

Определим условную гидравлическую крупность при  $H_1 = 2,5$  м и  $t^\circ = 20^\circ\text{C}$ , соответствующей требуемому эффекту осветления воды. Требуемая продолжительность осветления воды в цилиндре высотой  $h_1 = 500$  мм при

концентрации взвешенных веществ  $C_{\text{ен}} = 200$  мг/л составляет  $t = 960$  с. В соответствии с номограммой (см.п. 6.60, [15])  $m = 0,3$ .

По формуле:

$$u = \frac{H_1}{t_1 \cdot (H_1/h)^n} = \frac{2,5}{960(2,5/0,5)^{0,3}} = 0,001 \text{ м/с}$$

Для курсового проекта условную гидравлическую крупность определить по формуле:

$$u_0 = \mu_{II} \cdot u / \mu_I$$

где  $\mu_I$  и  $\mu_{II}$  – динамическая вязкость воды, полученная в лабораторных и производственных условиях (принять ( $\mu_I = 0,0101$  и  $\mu_{II} = 0,0131$ )).

$$u_0 = 0,0101 \cdot 0,0016 / 0,0131 = 0,00123 \text{ л/с}$$

Вертикальную турбулентную составляющую определяем по формуле:

$$\omega = 0,05 v = 0,05 \cdot 0,0049 = 0,00025 \text{ м/с}$$

Длину отстойника находим по формуле:

$$L = \frac{v \cdot H_1}{K \cdot (u_0 - \omega)} = \frac{0,0049 \cdot 2,5}{0,5 \cdot (0,00123 - 0,00025)} = 2,50 \text{ м}$$

где  $K = 0,5$  – коэффициент использования объема (см. п. 6.61 [14])

Общий объем проточной (рабочей) части сооружений:

$$V_{\text{отст}} = n \cdot B \cdot H_1 \cdot L = 6 \cdot 9 \cdot 2,5 \cdot 2,5 = 3375,0 \text{ м}^3$$

Рассмотрим вариант с глубиной  $H_1 = 3$  м.

$$\text{Тогда } B = \frac{0,664}{630,005} = 7,38 \text{ м}$$

Принимаем ширину отделений  $B = 6$  м и находим:

$$v = \frac{0,664}{663} = 0,001 \text{ м/с}$$

$$u = \frac{3}{960(3/0,5)^{0,3}} = 0,0018 \text{ м/с}$$

$$u_0 = 0,010 \cdot 0,0018 / 0,0131 = 0,0014 \text{ м/с}$$

$$\omega = 0,05 \cdot 0,0018 = 0,00009 \text{ м/с}$$

$$L = \frac{0,006 \cdot B}{0,5(0,0014 + 0,000305)} = 331,2 \text{ м}$$

Общий объем проточной части сооружений в этом случае составит:

$$V_{\text{отс}} = 6 \cdot 6 \cdot 3 \cdot 33,12 = 3576,96 \text{ м}^3 > 3375,0 \text{ м}^3.$$

Следовательно, первый вариант с глубиной  $H_1 = 2,5$  м целесообразнее и принимается за основной.

Масса улавливаемого осадка в сутки составит:

$$G_{\text{сух}} = \frac{C_{\text{ен}} \cdot \Delta K \cdot Q}{1000000} = \frac{2000,301,2 \cdot 38000}{1000000} = 2,74 \text{ т/сут}$$

При влажности  $W_{\text{ос}} = 95\%$  и плотности  $\rho = 1 \text{ т/м}^3$  объем осадка:

$$V = \frac{100 G_{\text{сух}}}{(100 - W_{\text{ос}}) \cdot \rho} = \frac{100 \cdot 2,74}{(100 - 95) \cdot 1} = 54,8 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Осадок сгребается в бункер скребковым механизмом цепного типа и удаляется из бункера по трубопроводу под гидростатическим напором, равным 1,5 м.

Общая высота отстойника на выходе:

$$H = H_1 + H_2 + H_3 = 2,5 + 0,3 + 0,5 = 3,3 \text{ м (см. п. 6.63-6.70 [14]).}$$

#### 4. Биологические фильтры

Биологические фильтры – сооружения, в которых сточная вода фильтруется через загрузочный материал, покрытый биологической пленкой, образованной колониями микроорганизмов.

Таблица 14

#### Виды биологических фильтров

Биофильтры	Расход сточных вод, м <sup>3</sup> /сут
1. С объемной загрузкой (гравий, шлак, керамзит и т. д.):	
а) капельные	до 1000
б) высоконагружаемые	до 50 000
в) башенные	до 50 000
2. С плоскостной загрузкой (пластмассы, металл, ткани и т. д.):	
а) с засыпной загрузкой	до 10 000
б) с блочной загрузкой	до 50 000
в) с мягкой загрузкой	до 10 000
г) погружные дисковые	до 1 000

Капельные биофильтры в зависимости от расхода сточных вод и среднегодовой температуры воздуха размещают в неотапливаемых помещениях (биофильтры производительностью до 500 м<sup>3</sup>/сут. размещаются в отапливаемых помещениях) при среднегодовой температуре воздуха  $T = +3...+6^{\circ}\text{C}$ ; допустимая БПК<sub>полн</sub> сточных вод, подаваемых на биофильтр, составляет 220 мг/л, гидравлическая нагрузка 1 – 3 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> в сутки.

Для расчета сначала определяют коэффициент  $K$ :

$$K = L_a/L_t$$

где  $L_a, L_t$  – БПК<sub>полн</sub> сточных вод (поступающих и очищенных) .

По среднезимней температуре сточных вод  $T_3$  и значению  $K$  (табл. 15) определяют высоту биофильтра  $H$  и гидравлическую нагрузку  $q$ . Если полученное значение  $K$  превышает значения, приведенные в таблице, необходимо вводить рециркуляцию и расчет производить по методике расчета высоконагружаемых биофильтров с рециркуляцией.

Затем по расходу очищаемых сточных вод, м<sup>3</sup>/сут., и гидравлической нагрузке, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·сут), вычисляют общую площадь биофильтров, м<sup>2</sup> :

$$F = Q/q$$

Таблица 15

**Параметры для расчета капельных биофильтров**

Гидравлическая нагрузка $q, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$	Значения $K$ при среднезимней температуре сточной воды $T_3, ^{\circ}\text{C}$							
	8		10		12		14	
	$H=1,5 \text{ м}$	$H=2,0 \text{ м}$	$H=1,5 \text{ м}$	$H=2,0 \text{ м}$	$H=1,5 \text{ м}$	$H=2,0 \text{ м}$	$H=1,5 \text{ м}$	$H=2,0 \text{ м}$
1,0	8,0	11,6	9,8	12,6	10,7	13,8	11,4	15,1
1,5	5,9	10,2	7,0	10,9	8,2	11,7	10,0	12,8
2,0	4,9	8,2	5,7	10,0	6,6	10,7	8,0	11,5
2,5	4,3	6,9	4,9	8,3	5,6	10,1	6,7	10,7
3,0	3,8	6,0	4,4	7,1	5,0	8,6	5,9	10,2

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

Высоко нагружаемые биофильтры, как правило, размещают на открытом воздухе; высоту биофильтра назначают в зависимости от БПК<sub>полн</sub> очищенной сточной воды, а гидравлическую нагрузку принимают 10 – 30 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·сут.), допустимая БПК<sub>полн</sub> поступающих на биофильтр сточных вод 300 мг/л. Расчет производят в следующей последовательности: по формуле  $K = L_a/L_t$  находят  $K$ ; по среднезимней температуре сточной воды  $T_3$  и по найденному значению  $K$  определяют высоту биофильтра  $H$ , гидравлическую нагрузку  $q$  и расход воздуха  $V_{уд}$  (табл. 16). Если полученное значение  $K$

отличается от приведенных в таблице, следует принимать для очистки без рециркуляции  $H, q$  и  $V_{уд}$  по ближайшему большему значению  $K$ , для очистки с рециркуляцией – по меньшему.

При очистке без рециркуляции находят площадь биофильтров по формуле  $F = Q/q$ , при очистке сточных вод с рециркуляцией определяют допустимую БПК<sub>полн</sub> смеси поступающей и рециркуляционной сточной воды, подаваемой на биофильтр  $L_{см}, \text{мг/л}$ , коэффициент рециркуляции  $n_p$  и площадь биофильтров  $F$ :

$$L_{см} = K \cdot L_t; F = Q(n_p + 1)/q$$

$$n_p = \frac{L_a - L_{см}}{L_{см} - L_t}$$

Таблица 16

**Параметры для расчета высоконагружаемых биофильтров**

№ п.п.	Высота биофильтра Н, м	Значения $K$ при среднесзимней температуре сточной воды $T_z, ^\circ\text{C}$							
		8		10		12		14	
		Гидравлическая нагрузка $q$ ,							
		10	20	10	20	10	20	10	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
При $V_{уд} = 8 \text{ м}^3 \text{ на } 1 \text{ м}^3$									
1	2	3,02	2,32	3,38	2,5	3,76	2,74	4,3	3,02
2	3	5,25	3,53	6,2	3,96	7,32	4,64	8,95	5,25
3	4	9,05	5,37	10,4	6,25	11,2	7,54	12,1	9,05
При $V_{уд} = 10 \text{ м}^3 \text{ на } 1 \text{ м}^3$									
4	2	3,69	2,89	4,08	3,11	4,5	3,36	5,09	3,67
5	3	6,11	4,24	7,08	4,74	8,23	5,31	9,9	6,04
6	4	10,1	6,23	12,3	7,18	15,1	8,45	16,4	10
При $V_{уд} = 12 \text{ м}^3 \text{ на } 1 \text{ м}^3$									
7	2	4,32	3,38	4,76	3,72	5,31	3,98	5,97	4,31
8	3	7,25	5,01	8,35	5,55	9,9	6,35	11,7	7,2
9	4	12	7,35	14,8	8,25	18,4	10,4	23,1	12

Биофильтры с плоскостной загрузкой следует размещать в закрытом помещении. Высоту биофильтра назначают от требуемой степени очистки. Допустимая БПК<sub>полн</sub> поступающих сточных вод при полной биологической очистке составляет 250 мг/л, при неполной – не ограничивается. Гидравлическая нагрузка зависит от необходимой степени очистки и содержания органических загрязнений в поступающей сточной воде.

Таблица 17

**Значения  $\eta$  при различной  $L_t$**

$L_t \text{ мг/л}$	$\eta$	$L_t \text{ мг/л}$	$\eta$	$L_t \text{ мг/л}$	$\eta$
10	3,3	25	2	40	1,45
15	2,6	30	1,75	45	1,3
20	2,25	35	1,6	50	1,2

Для расчета биофильтров с плоскостной загрузкой, в зависимости от требуемой БПК<sub>полн</sub> очищенных сточных вод по таблице 18 находят

критериальный комплекс:

$$\eta = P H K_T / M_n$$

где  $P$  – пористость загрузочного материала, %;

$M_n$  – масса органических загрязнений по БПК, поступающих в 1 сутки на единицу поверхности загрузочного материала биофильтра, г/(м<sup>2</sup>·сут.):

$$M_n = L_a \cdot q_n / S_{уд} = M_o / S_{уд}$$

где  $L_a$  – БПК<sub>полн</sub> поступающих сточных вод, мг/л;

$q_n$  – гидравлическая нагрузка, м<sup>3</sup>/(м<sup>3</sup>·сут.);

$S_{уд}$  – удельная поверхность загрузочного материала, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>;

$M_o$  – нагрузка по БПК<sub>полн</sub> на 1 м<sup>3</sup> объема биофильтра, г/(м<sup>3</sup>·сут.).

По заданной среднезимней температуре сточных вод  $T_3$  подсчитывают  $K_T$ . Глубина слоя загрузки  $H$  назначается в зависимости от требуемой степени очистки, но не менее 4 м;  $P$  определяется конструктивными размерами плоскостной загрузки.  $M_n$  находят из формулы:

$$M_n = P \cdot H \cdot K_T / \eta$$

Далее по заданной величине  $L_a$  и конструктивному размеру  $S_{уд}$  из формулы  $M_n = L_a \cdot q_n / S_{уд}$  определяют допустимую гидравлическую нагрузку  $q_n$ :

$$q_n = M_n \cdot S_{уд} / L_a$$

Затем по заданному суточному расходу, м<sup>3</sup>/сут., и  $q_n$  вычисляют объем загрузочного материала биофильтра, число биофильтров и их конструктивные размеры.

### 5. Аэротенки

Аэротенки представляют собой открытые резервуары, через которые медленно протекают подвергающиеся аэрации сточные воды, смешанные с активным илом. Эффект биологической очистки сточных вод обеспечивается постоянным перемешиванием смеси сточных вод с активным илом и непрерывной ее аэрацией на всем протяжении аэротенка. Подача кислорода в аэротенки производится воздухонагнетателями, механическими или струйными аэраторами.

Сточные воды поступают в аэротенки после сооружений механической очистки. Концентрация взвешенных веществ в них должна быть не более 150 мг/л, а допускаемая БПК<sub>полн</sub> зависит от типа аэротенка.

Аэротенки могут быть одноступенчатыми и двухступенчатыми, при этом в обоих случаях их применяют как с регенерацией, так и без нее (рис. 2).

Одноступенчатые аэротенки без регенерации применяют при БПК<sub>полн</sub> сточной воды не более 150 мг/л, с регенерацией – более 150 мг/л и при наличии вредных промышленных примесей.

Многокамерные аэротенки представляют собой обычные аэротенки, разделенные по длине на несколько камер (обычно 5 – 9) равного объема, что позволяет предотвратить продольное перемешивание.

По структуре движения потоков очищаемой сточной воды и возвратного активного ила различают:

1) *аэротенки-вытеснители* – сточная вода и возвратный активный ил подаются сосредоточенно с одной из торцевых сторон аэротенка, а выпускаются также сосредоточенно с другой торцевой стороны;

2) *аэротенки-смесители* – подача и выпуск сточной воды и ила осуществляется равномерно вдоль длинных сторон коридора аэротенка; аэротенки с рассредоточенной подачей сточной воды – сточная вода подводится в нескольких точках по длине аэротенка, а отводится сосредоточенно в начало аэротенка.

Аэротенки-вытеснители целесообразно применять при БПК<sub>полн</sub> поступающей сточной воды до 300 мг/л, а аэротенки-смесители – при БПК<sub>полн</sub> до 1000 мг/л.

При расчете аэротенков учесть снижение БПК<sub>полн</sub> в сооружениях механической очистки на 15-25% (в среднем 20%).

Расчет аэротенков включает определение:

1. Объемов сооружения. Объем (емкость аэротенков) определяется по среднечасовому поступлению сточных вод за период аэрации в часы максимального притока.
2. Габаритов сооружения.
3. Объема требуемого воздуха.
4. Прироста активного ила

Продолжительность аэрации в аэротенках-смесителях  $t$ , ч, вычисляется по формуле:

$$t = \frac{L_a - L_t}{a(1-s)\rho}$$

где  $L_a$  – БПК<sub>полн</sub> поступающей в аэротенк сточной воды, мг/л;

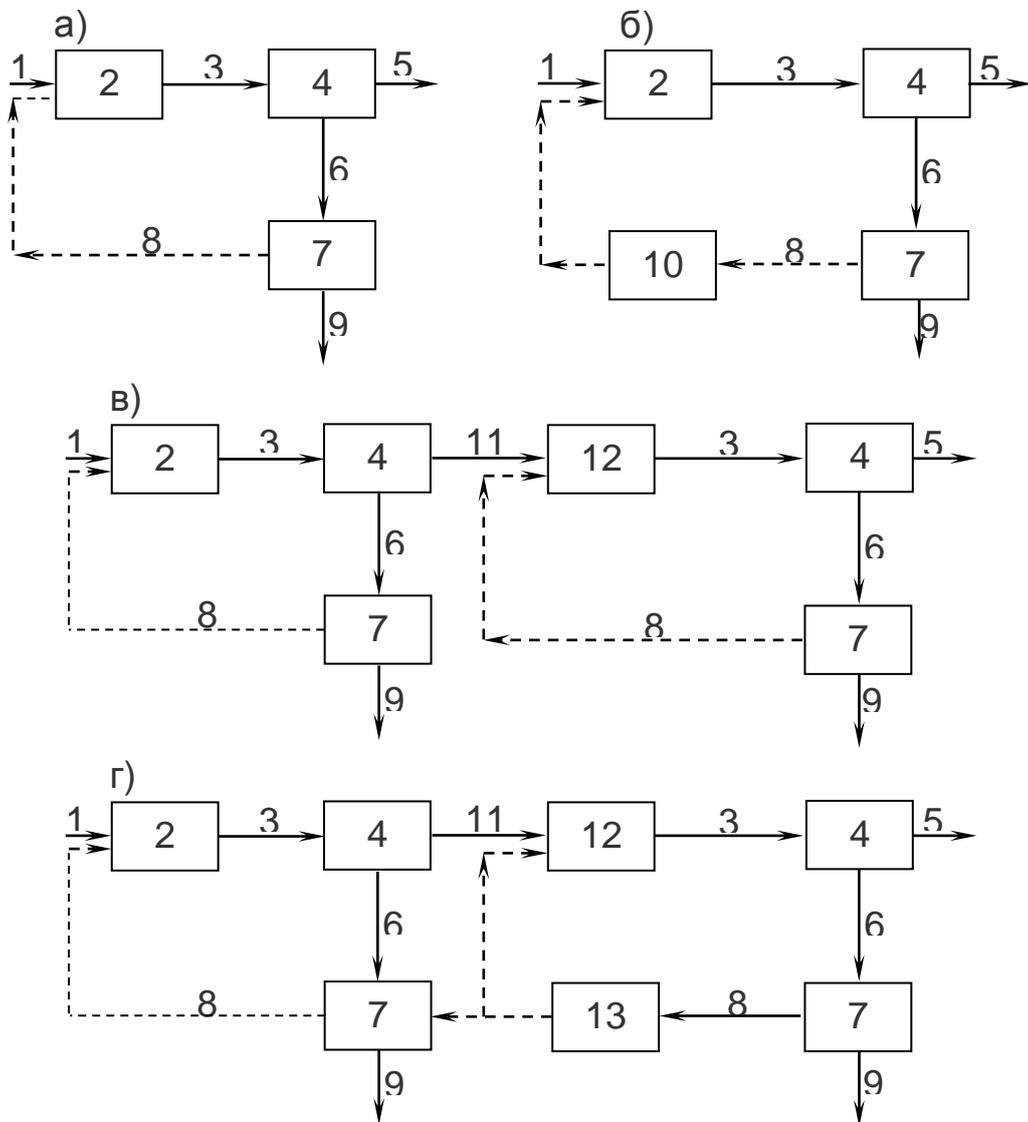
$L_t$  – БПК<sub>полн</sub> очищенных сточных вод, мг/л;

$a$  – доза ила, г/л (в аэротенках-смесителях без регенерации  $a = 3$  г/л, с регенерацией  $a = 2..4$ г/л);

$s$  – зольность ила (для курсового проекта принять  $s = 0,3$ );

$\rho$  – удельная скорость окисления, мг БПК<sub>полн</sub> на 1 г беззольного вещества активного ила в 1 час:

$$\rho = \rho_{\max} \frac{L_t \cdot C}{L_t \cdot C + K_L \cdot C + K_o \cdot L_t} \cdot \left( \frac{1}{1 + \alpha i} \right)$$



**Рис. 2. Основные технологические схемы очистки сточных вод в аэротенках:**

а – с одноступенчатым аэротенком без регенерации; б – то же, с регенерацией;  
 в – с двухступенчатым аэротенком без регенерации; г – то же, с регенерацией.  
 1 – подача неочищенных сточных вод; 2 – аэротенк; 3 – выпуск иловой смеси;  
 4 – отстойник; 5 – выпуск очищенных сточных вод; 6 – выпуск отстоянного активного ила;  
 7 – иловая насосная станция; 8 – подача возвратного активного ила; 9 – выпуск  
 избыточного активного ила; 10 – регенератор; 11 – выпуск сточных вод после I ступени  
 очистки; 12 – аэротенк II ступени; 13 – регенератор II ступени

где  $\rho_{\text{макс}}$  – максимальная скорость окисления, мг/(г·ч), (для курсового проекта  
 принять  $\rho_{\text{макс}} = 85 \text{ мгБПК}_{\text{полн}}/(\text{г}\cdot\text{ч})$ ;

$C$  – концентрация растворенного кислорода, мг/л;

$K_L$  – константа, характеризующая свойства органических загрязнений, мг  
 БПК<sub>полн</sub>/л;

$K_0$  – константа, характеризующая влияние кислорода, мг  $\text{O}_2$ /л;

$\phi$  – коэффициент ингибирования продуктами распада активного ила, л/г.

При курсовом проектировании принять  $K_L = 33$  мгБПК<sub>полн</sub>/л;  $K_0 = 0,625$  мгО<sub>2</sub>/л,  $\varphi = 0,07$  л/г.

Период аэрации в аэротенках-вытеснителях определяется по формуле:

$$t = \frac{1+\varphi a}{\rho_{\max} C a (1-s)} \cdot [(C_0 + K_0) \cdot (L_u - L_t) + K_L \cdot C \cdot \ln \frac{L_a}{L_t}] \cdot K_T$$

где  $K_T$  – коэффициент, учитывающий влияние продольного перемешивания; при полной биологической очистке до  $L_t = 15$  мг/л  $K_T = 1,5$ ; при  $L_t > 30$  мг/л  $K_T = 1,25$ .

Доза активного ила при расчете принимается без регенерации 3 – 5 г/л, а при регенерации 2 – 4,5 г/л. При расчете аэротенков-вытеснителей с регенерацией  $L_a' = L_a$ , без регенерации величина  $L_a'$  определяется с учетом разбавления рециркулирующим расходом:

$$L_a' = \frac{L_a + L_t \cdot R}{1 + R}$$

где  $R$  – степень рециркуляции активного ила:

$$R = a / (1000/I) - a$$

где  $I$  – иловый индекс, зависящий от нагрузки загрязнений на ил и природы загрязнений, определяется экспериментально (принять по табл. 19).

Т а б л и ц а 18

**Иловый индекс**

Нагрузка на ил $q_{ил}$ , мг/(г·сут)	100	200	300	400	500	600
Иловый индекс $I$ , см <sup>3</sup> /г	130	100	70	80	95	130

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

Нагрузка на 1 г беззольного вещества ила в сутки определяется по формуле:

$$q_{ил} = \frac{24(L_u - L_t)}{a(1-s)t}$$

При проектировании аэротенков с регенераторами необходимо рассчитывать продолжительность окисления загрязнений  $t_0$ , ч:

$$t_0 = \frac{L_a - L_t}{R a_p (1-s) \rho}$$

где  $a_p$  – доза ила в регенераторе, г/л:

$$a_p = \alpha \left( \frac{1}{2R} + 1 \right)$$

Удельная скорость окисления для аэротенков-смесителей и аэротенков-вытеснителей с регенераторами определяется при дозе ила  $a_p$ .

При подсчете  $t_d$  для аэротенков-вытеснителей БПК<sub>полн</sub> поступающей сточной воды равна  $L_a'$ , т. е. с учетом разбавления рециркуляционным расходом.

При расчете аэротенков с регенерацией активного ила  $t_a$  определяется с учетом разбавления циркулирующим расходом, а  $t_0$  — без учета разбавления.

Продолжительность пребывания сточных вод в собственно аэротенке, ч:

$$t_a = \frac{2,5}{a_a^{0,5}} \lg \frac{L_a}{L_t}$$

а период регенерации  $t_p$ , ч:

$$t_p = t_0 - t_a$$

Объемы аэротенка  $V_a$  и регенератора  $V_p$ , м<sup>3</sup>:

$$V_a = t_a (1 + R) \cdot q$$

$$V_p = t_p \cdot R \cdot q$$

где  $q$  — расход сточных вод, м<sup>3</sup>/ч.

Прирост активного ила в аэротенках  $\Pi$ , мг/л, рассчитывается по формуле:

$$\Pi = 0,8 C_{взв} + K_{\Pi} L_a$$

где  $C_{взв}$  — концентрация взвешенных веществ, поступающих в аэротенк, мг/л;

$K_{\Pi}$  — коэффициент прироста активного ила (принять  $K_{\Pi} = 0,3..0,5$ ).

Удельный расход воздуха  $D$ , м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, при очистке сточных вод в аэротенках определяется отношением расхода кислорода, требующегося для обработки 1 м<sup>3</sup> воды, к расходу используемого кислорода с 1 м<sup>3</sup> подаваемого воздуха:

$$D = \frac{Z(L_a - L_t)}{k_1 \cdot k_2 \cdot n_1 \cdot n_2 (C_p - C)}$$

где  $Z$  — удельный расход кислорода воздуха, мг на 1 мг снятой БПК<sub>полн</sub>: при полной очистке (БПК<sub>полн</sub> = 15...20 мг/л)  $Z = 1,1$  мг/мг, при неполной очистке (БПК<sub>полн</sub> > 20 мг/л) — 0,9 мг/мг;

$k_1$  — коэффициент, учитывающий тип аэратора, принимается для мелкопузырчатой аэрации в зависимости от соотношения площадей аэрируемой зоны и аэротенка ( $f/F$ ) по табл. 20, для среднепузырчатой и систем низконапорной аэрации  $k_1 = 0,75$ ;

$k_2$  — коэффициент, зависящий от глубины погружения аэраторов  $h_a$ , принимается по табл. 21;

$n_1$  — коэффициент, учитывающий температуру сточных вод:

$$n_1 = 1 + 0,02(T_{\Pi} - 20),$$

$T_l$  – среднемесячная температура сточных вод за летний период, °С;

$n_2$  – коэффициент качества сточных вод (принять  $n_2 = 0,85$ );

$C_p$  – растворимость кислорода в воде, мг/л:

$$C_p = (1 + h_a / 20,6) C_T,$$

$C_T$  – растворимость кислорода воздуха в воде в зависимости от температуры и давления, принимается по табл. 22;

$C$  – средняя концентрация кислорода в аэротенке (принять  $C = 2$  мг/л).

Таблица 19

**Данные для расчетов**

$f/F$	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1
$k_1$	1,34	1,47	1,68	1,89	1,94	2	2,13	2,3
$I_{max}, M^3/M^2 \cdot ч$	5	10	20	30	40	50	75	100

Таблица 20

**Данные для расчетов**

$h_a$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	3	4	5	6
$k_2$	0,4	0,46	0,6	0,8	0,9	1	2,08	2,52	2,92	3,3
$I_{min}, M^3/M^2 \cdot ч$	48	42	38	32	28	24	4	3,5	3	2,5

Таблица 21

**Данные для расчетов**

$T_l, °C$	5	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
$C_T, мг/л$	12,79	11,27	10,75	10,26	9,82	9,4	9,02	8,67	8,33	8,02	7,72

Площадь аэрируемой зоны  $f$  принимается по площади, занимаемой пневматическими аэраторами, включая просветы между ними до 0,3 м. По значениям  $D$  и  $t$  определяется интенсивность аэрации  $I, м^3/(м^2 \cdot ч)$ :

$$I = DN / t$$

где  $H$  – рабочая глубина аэротенка, м.

Рабочую глубину аэротенков принимают от 3 до 6 м, отношение ширины коридора к рабочей глубине аэротенков – от 1:1 до 2:1.

Для аэротенков и регенераторов число секций должно быть не менее двух. Для станций с производительностью до 50 000 м<sup>3</sup>/сут. целесообразно принять 4 – 6 секций, более 50 000 м<sup>3</sup>/сут. – 6 – 8; все секции рабочие, каждая состоит из 2 – 4 коридоров. В практике проектирования и строительства аэротенков используют типовые проекты (табл. 22, 23, 24).

Таблица 22

**Основные параметры аэротенков-смесителей  
конструкции Союзводоканалниипроекта**

Ширина коридора, м	Рабочая глубина аэротенка	Число коридоров	Рабочий объем секции м <sup>3</sup>	Длина секции	Число секций	Тип аэрации
3	1,2	2	170	24	3	механическая
			260	36	3 ... 4	то же
4	4,5	2	864	24	2 ... 4	низконапорная
			1296	36	2 ... 4	то же
6	5	3	3780	42	2 ... 4	пневматическая донная
			5400	60	2 ... 4	то же
			7560	84	2 ... 5	то же
9	5,2	4	21680	120	3 ... 8	то же
			28080	150	3 ... 8	то же

Таблица 23

**Техническая характеристика аэротенков с рассредоточенным впуском  
сточных вод конструкции ЦНИИЭП инженерного оборудования**

Тип аэротенка*	Длина, м	Рабочий объем, м <sup>3</sup>	Расстояние между впусками, м	Число секций	Пропускная способность станции, тыс. м <sup>3</sup> /сут.
АР-2-6-4,4	36 – 72	2010 – 4020	6	3 – 4	25 – 80
АР-2-9-4,4	42 – 84	3520 – 7040	6	3 – 4	35 – 140
АР-4-6-4,4	90 – 114	9760 – 12370	12	2 – 5	100 – 250
АР-4-9-4,4	90 – 114	14840 – 18800	12	2 – 5	150 – 300
АР-4-9-5	90 м 114	16800 – 21300	12	3 – 6	200 – 400

\* Первая цифра обозначает число коридоров, вторая – ширину коридора, третья – гидравлическую глубину.

При подборе механических, пневмомеханических и струйных аэраторов следует исходить из их производительности по кислороду, скорости потребления кислорода и массообменных свойств сточных вод, пользуясь соответствующей литературой.

**Пример.** Рассчитать аэротенки для очистки городских сточных вод при следующих исходных данных: расход сточных вод  $q = 28\ 000\ \text{м}^3/\text{сут.}$ , расчетный расход  $q_{\text{расч}} = 1720\ \text{м}^3/\text{ч}$ , БПК<sub>полн</sub> поступающих в аэротенк сточных вод  $L_a = 140\ \text{мг/л}$ , БПК<sub>полн</sub> очищенных сточных вод  $L_t = 1,5\ \text{мг/л}$ ; среднемесячная температура сточных вод за летний период  $T_l = 21^\circ\text{C}$ .

Принимаем аэротенки-смесители без регенерации, поскольку  $L_a < 150\ \text{мг/л}$ . Соответственно принимаем дозу ила  $a = 3\ \text{г/л}$ , его зольность  $s = 0,3$ ; максимальную скорость окисления  $\rho_{\text{макс}} = 85\ \text{мг}/(\text{г}\cdot\text{ч})$ ; константу, характеризующую свойства органических загрязнений  $K_L = 33\ \text{мг/л}$ ; константу, характеризующую влияние кислорода  $K_0 = 0,625\ \text{мг/л}$ ; коэффициент

ингибирования продуктами распада активного ила  $\phi = 0,07$  л/г. Концентрацию растворенного кислорода в аэротенке принимаем  $C = 2$  мг/л.

Подсчитаем удельную скорость окисления  $\rho$  по формуле:

$$\rho = \rho_{\max} \frac{L_t \cdot C}{L_t \cdot C + K_L \cdot C + K_O \cdot L_t} \cdot \left( \frac{1}{1 + \phi \alpha} \right) = 85 \frac{152}{152 + 332 + 0,625 \cdot 15} \cdot \left( \frac{1}{1 + 0,073} \right) = 1984 = 20 \text{ мг/г} \cdot \text{ч}$$

Продолжительность аэрации в аэротенках-смесителях вычислим по формуле:

$$t = \frac{L_a - L_t}{\alpha(1-s) \cdot \rho} = \frac{140 - 15}{3(1-0,3) \cdot 20} = 2,98 \text{ ч}$$

Определим объем аэротенков:

$$V = q_{\text{расч}} \cdot t = 1720 \cdot 2,98 = 5125,6 = 5126 \text{ м}^3.$$

Принимаем четыре секции двухкоридорных аэротенков-смесителей с рабочей глубиной  $H = 4,5$  м и шириной коридора  $B = 4$  м.

Принимаем мелкопузырчатый аэратор из керамических фильтросных пластин, а отношение площади аэрируемой зоны и аэротенка  $f/F = 0,1$ . Тогда коэффициент, учитывающий тип аэратора (см. табл. 20),  $k_1 = 1,47$ , а коэффициент, зависящий от глубины погружения аэраторов  $h_a = 4,3$  м (см. табл. 21),  $k_2 = 2,64$ .

Определим коэффициент  $n_1$  учитывающий температуру сточных вод:

$$n_1 = 1 + 0,02(T_{\text{л}} - 20) = 1 + 0,02(21 - 20) = 1,02.$$

Коэффициент качества сточных вод  $n_2 = 0,85$  (для курсового проекта).  $Z_1 = 1,1$  мг/мг (т. к. БПК<sub>полн</sub> очищенных сточных вод  $L_t = 15$  мг/л – полная очистка сточных вод).

Растворимость кислорода в воде  $C_p$  определим по формуле:

$$C_p = (1 + h_a/20,6) \cdot C_T = (1 + 4,3/20,6) \cdot 8,84 = 10,69 \text{ мг/л},$$

где  $C_T = 8,84$  мг/л – растворимость кислорода воздуха в воде в зависимости от температуры и давления (см. табл. 22).

Удельный расход воздуха  $D$  рассчитываем по формуле:

$$D = \frac{Z(L_a - L_t)}{k_1 \cdot k_2 \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot (C_p - C)} = \frac{1,1(140 - 15)}{1,47 \cdot 2,64 \cdot 1,02 \cdot 0,85(10,69 - 2)} = 4,7 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

По значениям  $D$  и  $t$  определим интенсивность аэрации:

$$I = D \cdot H / t = 4,7 \cdot 4,5 / 2,98 = 7,1 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$$

где  $H = 4,5$  м – рабочая глубина аэротенка.

Вычисленная интенсивность аэрации  $I < I_{\max}$  для принятого коэффициента  $k_1$  (табл. 20) и  $I > I_{\min}$  для принятого коэффициента  $k_2$  (табл. 20), следовательно, пересчета интенсивности аэрации не требуется.

Общий расход воздуха найдем из формулы:

$$D_{\text{общ}} = Q \cdot D = 28000 \cdot 4,7 = 131600 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Таблица 24

**Основные параметры азроtenков-вытеснителей конструкции ЦНИИЭП инженерного оборудования**

Ширина коридора м	Рабочая глубина азроtenка, м	Число коридоров	Рабочий объем одной секции, м <sup>3</sup> , при длине, м						
			36...42	48...54	60...66	72...78	84...90	96...102	108...114
4,5	3,2	2	1040-1213	1386-1559	1732				
		3	1560-1820	2080-2340	2600				
		4	2070-2416	2762-3108	3494-3800				
	4,4	2	1420-1658	1896-2134	2372				
		3	2140-2496	2852-3208	3564				
		4	2850-3325	3800-4275	4750-5225				
6	4,4	2		2530-2847	3154-3471	3788			
		3		3800-4275	4750-5225	5700			
		4		5700	5334-6968	7602-8230	6870		
	5	2		2880-3240	3600-3960	4320			
		3		4320-4860	5400-5940	6480			
		4		6500	7220-7940	8666-9380	10100		
9	4,4	2				6180	6555-7130	7505-7980	8455
		3				9270	9983-10696	11409-12122	12835
		4				–	13300-14250	15200-16150	1710-18050
	5	2				7020	7560-8100	8640-9180	9720
		3				10530	11340-12150	12960-13770	14580
		4				–	15120-16200	17280-18360	19440-20250

Определим площадь аэротенка по найденному полному объему  $V$  и рабочей глубине  $H$ :

$$F = V / H = 5126 / 4,5 = 1139,1 \text{ м}^2.$$

Вычислим длину коридора аэротенка:

$$l_a = F / (B \cdot n_a \cdot n_k) = 1139,1 / (4 \cdot 4 \cdot 2) = 35,6 \text{ м},$$

где  $n_a$  и  $n_k$  – число секций аэротенков и число коридоров в каждой секции.

По таблице 23 подбираем четыре секции двухкоридорных аэротенков-смесителей с рабочей глубиной 4,5 м, шириной коридора 4 м, длиной коридора 36 м и объемом каждой секции 1296 м<sup>3</sup> (типовой проект). В этом случае общий объем аэротенков составит 5184 м<sup>3</sup>, а фактическое время аэрации 3,01 ч. Общие размеры площади, занимаемой аэротенками 32×36.

### 6. Метантенки

Метантенки – резервуары, в которых производится сбраживание осадка и избыточного активного ила. Метантенк представляет собой герметичный цилиндрический железобетонный резервуар с коническим днищем. В верхней части имеется колпак для сбора газа, откуда он отводится для дальнейшего использования. Чтобы ускорить в метантенке процессы сбраживания, используют различные приемы, например, подогрев ила и его перемешивание. Осадок подогревают обычно до температуры  $t = 30 - 33^\circ\text{C}$  (мезофильный режим) или  $t = 50 - 53^\circ\text{C}$  (термофильный режим), вводя в сооружение горячий пар или горячую воду, которые циркулируют по змеевикам, уложенным внутри метантенка. Режим сбраживания выбирают с учетом методов последующей обработки осадков. При этом обязательным является обеспечение санитарных требований. Например, если для подсушки сброженного осадка проектируются иловые площадки, следует принять термофильный режим или предусмотреть после мезофильного процесса дегельминтизацию осадка. Если в схеме станции предполагается узел термической сушки, сбраживание целесообразно проводить в мезофильных условиях и т. д. Окончательное решение принимают на основании технико-экономических расчетов.

Перемешивают осадок в метантенке либо с помощью насосов, забирающих его из нижней части камеры и подающих в верхнюю часть, либо гидроэлеваторами совместно с насосами или же специальными мешалками.

Процессы сбраживания ила в метантенке в основном аналогичны таким же процессам в двухъярусных отстойниках, но в результате искусственного повышения температуры и перемешивания, распад сложных органических веществ идет значительно быстрее. Наибольшему распаду подвергаются жироподобные вещества и углеводы. При сбраживании выделяются газы: метан 63 – 64%, углекислота 32 – 33%, азот 0 – 3%, водород 0 – 3 %.

Для транспортирования газа из метантенков устраивается специальная газовая сеть. Вследствие того, что газ поступает из сооружения неравномерно, на тупиковых концах сети устраивают аккумулялирующие газгольдеры, которые выравнивают давление в сети.

Расчет метантенков заключается в определении необходимого их объема в зависимости от количества поступающего в них сырого осадка и избыточного активного ила.

Количество сухого вещества осадка  $O_{\text{сух}}$  и активного ила  $I_{\text{сух}}$ , образующихся на станции, т в 1 сут., рассчитывают по следующим формулам:

$$O_{\text{сух}} = C \cdot \mathcal{E} \cdot k \cdot Q / 100 \rho_{\text{ос}}$$

$$I_{\text{сух}} = (0,8 \cdot C(1 - \mathcal{E}) + aL_a - b) \cdot Q / 100 \rho_{\text{ил}}$$

где  $C$  – концентрация взвешенных веществ в воде, поступающей на первичные отстойники, мг/л;  $L_a$  – БПК<sub>полн</sub> поступающей в аэротенк сточной воды, мг/л;  $\mathcal{E}$  – эффективность задержания взвешенных веществ в первичных отстойниках, доли единицы;  $q$  – средний расход сточных вод, м<sup>3</sup>/сут.;  $k$  – коэффициент, учитывающий увеличение объема осадка за счет крупных фракций взвешенных веществ, не улавливаемых при отборе проб для анализов (равный 1,1-1,2);  $b$  – вынос активного ила из вторичных отстойников, мг/л;  $a = 0,3-0,5$  – коэффициент прироста активного ила.

Количество беззольного вещества осадка  $O_{\text{без}}$  и активного ила  $I_{\text{без}}$ , т в 1 сутки, вычисляют по формулам:

$$O_{\text{без}} = O_{\text{сух}}(100 - B_{\Gamma}) \cdot (100 - Z_{\text{ос}}) / 100 \rho_{\text{ос}}$$

$$I_{\text{без}} = I_{\text{сух}}(100 - B_{\Gamma}') \cdot (100 - Z_{\text{ил}}) / 100 \rho_{\text{ил}}$$

где  $B_{\Gamma}$ ,  $B_{\Gamma}'$  – гигроскопическая влажность сырого осадка и активного ила;  $Z_{\text{ос}}$  и  $Z_{\text{ил}}$  – зольность сухого вещества осадка и ила, %.

Расход сырого осадка и избыточного активного ила, м<sup>3</sup>/сут.:

$$V_{\text{ос}} = 100 O_{\text{сух}} / (100 - W_{\text{ос}}) \rho_{\text{ос}}$$

$$V_{\text{ил}} = 100 I_{\text{сух}} / (100 - W_{\text{ил}}) \rho_{\text{ил}}$$

где  $W_{\text{ос}}$  – влажность сырого осадка, %;  
 $W_{\text{ил}}$  – влажность избыточного активного ила, %;  
 $\rho_{\text{ос}}$ ,  $\rho_{\text{ил}}$  – плотности осадка и активного ила.

Общий расход осадков на станции:

по сухому веществу  $M_{\text{сух}} = O_{\text{сух}} + I_{\text{сух}}$ ;

по беззольному веществу  $M_{\text{без}} = O_{\text{без}} + I_{\text{без}}$ ;

по объему смеси фактической влажности  $M_{\text{общ}} = V_{\text{ос}} + V_{\text{ил}}$

Средние значения влажности смеси и зольности, %:

$$B_{\text{см}} = 100 \cdot (1 - M_{\text{сух}} / M_{\text{общ}});$$

$$Z_{\text{см}} = 100 \cdot [1 - M_{\text{без}} / (O_{\text{сух}} \cdot (100 - B_{\Gamma}) / 100 + I_{\text{сух}} (100 - B_{\Gamma}' / 100))]$$

Зная фактическую влажность смеси, можно подсчитать требуемый объем метантенка, м<sup>3</sup>:  $V=M_{общ} \cdot 100 / D$ , где  $D$  – суточная доза загрузки осадка в метантенк, % (табл. 25).

Таблица 25

**Суточная доза загрузки осадка в метантенк**

Режим сбраживания	Доза загрузки, % при влажности загружаемого осадка, % не более				
	93	94	95	96	97
Мезофильный	7	8	8	9	10
Термофильный	14	16	17	18	19

Выход газа  $y'$ , м<sup>3</sup> на 1 кг загруженного беззольного вещества (плотность газа принята равной 1):

$$y' = (a - n \cdot D) / 100,$$

где  $a$  – предел сбраживания осадка, %;

$n$  – экспериментальный коэффициент, зависящий от влажности осадка и температурного режима сбраживания, принимаемый по таблице 61 СНИП 2.04.03-85.

Для смеси осадка и активного ила предел распада:

$$a_{см} = (a_o \cdot O_{без} + a_{и} \cdot I_{без}) / M_{без},$$

где  $a_o$  и  $a_{и}$  – пределы распада соответственно осадка и ила.

Эти показатели могут быть рассчитаны, если известно содержание жиров, белков и углеводов в 1 г сбраживаемого субстрата. В курсовом проекте принять  $a_o = 53\%$ ,  $a_{и} = 44\%$ .

Суммарный выход газа, м<sup>3</sup>/сут.:  $G = y' M_{без}$ .

При расчете и проектировании метантенков следует принимать типовые конструкции метантенков.

Таблица 26

**Конструктивные размеры метантенков**

Проект	Диаметр, м	Полезный объем Одного резервуара, м <sup>3</sup>	Высота, м			Строительный объем, м <sup>3</sup>	
			Верхнего уровня	Цилиндрической части	Нижнего корпуса	Здания обслуживания	Киоска газовой сети
902-2-227	12,5	1000	1,9	6,5	2,15	652	100
902-2-227	15	1600	2,35	7,5	2,6	2035	112
902-2-227	17,5	2500	2,5	8,5	3,05	2094	136
902-2-227	20	4000	2,9	10,6	3,5	2520	174
Новокурьяновской станции	18	6000	3,15	18	3,5	2700	170
Люберецкой станции	22,4	8000	4,45	16,3	3,7	2000	170

**Пример.** Выполнить расчет метантенков для станции с полной биологической очисткой производительностью 48000 м<sup>3</sup>/сут. Концентрация взвешенных веществ составляет  $C_{ен} = 200$  мг/л, БПК<sub>полн</sub> = 170 мг/л, эффект осветления в первичных отстойниках  $\Xi = 45\%$ . Проектом предусмотрено механическое обезвоживание сброженного осадка с последующей термической сушкой.

Определяем расход осадка по сухому веществу:

$$O_{сух} = \frac{C_{ен} \cdot \Xi \cdot k}{1000000} \cdot Q = \frac{200 \cdot 0,45 \cdot 1,2}{1000000} \cdot 48000 = 5,18 \text{ т/сут}$$

где  $k = 1,2$  – коэффициент, учитывающий увеличение объема осадка за счет крупных фракций взвешенных веществ, не улавливаемых при отборе проб для анализов.

В процессе осветления воды в первичных отстойниках происходит снижение концентрации загрязнений, фиксируемых БПК<sub>полн</sub>, примерно на 15 - 25%. Принимая среднее из приведенных значений 20%, определяем БПК<sub>полн</sub> в воде, поступающей в аэротенки:

$$L_a = 170(1 - 0,2) = 136 \text{ мг/л.}$$

Вынос активного ила *b* из вторичного отстойника принимаем равным 15 мг/л. Тогда по формуле определим количество сухого вещества активного ила:

$$I_{сух} = \frac{0,8C_{ен} \cdot (1 - \Xi) + aL_a - b}{1000000} \cdot Q = \frac{0,8 \cdot 200 \cdot (1 - 0,45) + 0,3136 \cdot 15}{1000000} \cdot 48000 = 5,46 \text{ т/сут}$$

Для расчета расходов осадка и ила по беззольному веществу при зольности осадка  $Z_{ос} = 27\%$ , зольности активного ила  $Z_{ил} = 25\%$  и гигроскопической влажности осадка и ила  $B_r$  и  $B_r'$  равной 5%, используем формулы:

$$O_{без} = \frac{O_{сух}(100 - B_r) \cdot (100 - Z_{ос})}{10000} = \frac{5,18(100 - 5) \cdot (100 - 27)}{10000} = 3,59 \text{ т/сут}$$

$$I_{без} = \frac{I_{сух}(100 - B_r') \cdot (100 - Z_{ил})}{10000} = \frac{5,46(100 - 5) \cdot (100 - 25)}{10000} = 3,89 \text{ т/сут}$$

При удалении осадка из отстойников плунжерными насосами влажность его можно принять равной  $W_{ос} = 94\%$ , влажность уплотненного активного ила  $W_{ил} = 97\%$ , плотность осадка и активного ила можно считать равной  $\rho_{ос} = 1$  и  $\rho_{ил} = 1 \text{ кг/м}^3$ . Подсчитаем расход сырого осадка и избыточного активного ила по формулам:

$$V_{ос} = \frac{100O_{сух}}{(100 - W_{ос})\rho_{ос}} = \frac{100 \cdot 5,18}{(100 - 94) \cdot 1} = 86,3 \text{ м}^3/\text{сут}$$

$$V_{ил} = \frac{100I_{сух}}{(100 - W_{ил})\rho_{ил}} = \frac{100 \cdot 5,46}{(100 - 97) \cdot 1} = 182,3 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Определим суммарные расходы осадка и ила по формулам:

$$\begin{aligned} M_{сух} &= O_{сух} + I_{сух} = 5,18 + 5,46 = 10,64 \text{ т/сут.}; \\ M_{общ} &= V_{ос} + V_{ил} = 86,3 + 182,3 = 268,6 \text{ м}^3/\text{сут.}; \\ M_{без} &= O_{без} + I_{без} = 3,59 + 3,89 = 7,48 \text{ м}^3/\text{сут.} \end{aligned}$$

Подсчитаем средние значения влажности и зольности:

$$B_{см} = 100 \cdot (1 - M_{сух}/M_{общ}) = 100 \cdot (1 - 10,64/268,6) = 96\%;$$

$$Z_{ил} = 100 \left[ 1 - \frac{M_{без}}{O_{сух}(100-B_r)/100 + I_{сух}(100-B_r)/100} \right] = 100 \left[ 1 - \frac{7,48}{5,18(100-5)/100 + 5,46(100-5)/100} \right] = 26\%$$

Учитывая, что проектом предусматривается механическое обезвоживание сброженной смеси с последующей термической сушкой осадка, принимаем мезофильный режим сбраживания, что позволит полностью обеспечить процесс теплом, получаемым от сжигания газов брожения, и повысить нагрузку на вакуум-фильтры.

При влажности исходной смеси 96% доза загрузки для мезофильного режима составит 9% (см. п. 6.350 [15]), тогда требуемый объем метантенков:

$$V = M_{общ} \cdot 100/D = 268,6 \cdot 100/9 = 2977,8 \text{ м}^3.$$

Принимаем три типовых метантенка  $d = 12,5$  м, полезным объемом одного резервуара  $1000 \text{ м}^3$ . Конструктивные размеры метантенков: высота верхнего корпуса 1,9 м, цилиндрической части 6,5 м, нижнего конуса 2,15 м, строительный объем здания обслуживания  $652 \text{ м}^3$ , киоска газовой сети  $100 \text{ м}^3$ .

Предел распада смеси осадка и активного ила подсчитаем по формуле:

$$a_{см} = (a_o O_{без} + a_{и} I_{без})/M_{без} = (53 \cdot 3,59 + 44 \cdot 3,89)/7,48 = 48,32\%,$$

где  $a_o = 53\%$ .  $a_{и} = 44\%$  – пределы распада соответственно осадка и ила.

Выход газа  $y'$  на 1 кг беззольного вещества загружаемого осадка составит:

$$y' = (a - n \cdot D)/100 = (48,32 - 0,56 \cdot 9)/100 = 0,433 \text{ м}^3/\text{кг},$$

где  $n = 0,56$  (при  $B_{см} = 96\%$  и  $t = 33^\circ\text{C}$ , см. п. 6.352 [7]).

Суммарный выход газа:

$$G = y' M_{без} \cdot 1000 = 0,433 \cdot 7,48 \cdot 1000 = 3238,8 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Для сбора газа, выделяющегося в метантенках, и его транспортирования предусматриваем мокрые газгольдеры, вместимость которых рассчитывается на 2 – 4-часовой выход газа:

$$V_r = 3238,2 \cdot 3/24 = 404,78 \text{ м}^3.$$

Принимаем два типовых газгольдера объемом  $300 \text{ м}^3$  каждый.

Далее следует определить качество сброженной смеси, т. е. рассчитать ее влажность и зольность.

### 7. Хлораторные установки

В результате механической и биохимической очистки на биофильтрах и аэротенках из сточных вод устраняется 90 – 95% болезнетворных бактерий. Для уничтожения оставшихся патогенных бактерий очищенные сточные воды подвергают специальным методам обеззараживания. С целью дезинфекции сточных вод применяют хлорирование, озонирование, ультрафиолетовое

излучение. Наибольшее распространение получил способ хлорирования, осуществляемый введением в обеззараживаемую воду хлорной извести, хлор-газа или гипохлорита натрия.

Сущность дезинфекции хлорированием заключается в окислении бактерий кислородом, образующимся при взаимодействии указанных дезинфекторов с водой, и непосредственном действии хлора на протоплазму бактериальных клеток.

Выбор метода обеззараживания сточной воды производят, руководствуясь расходом и качеством обрабатываемой воды, эффективностью ее предварительной очистки, условиями поставки, транспорта и хранения реагентов, возможностью автоматизации и механизации трудоемких работ.

Количество активного хлора, вводимого на единицу объема сточных вод, называется дозой хлора и выражается в граммах ( $\text{г/м}^3$ ):

- после механической очистки – 10;
- неполной биологической очистки – 5;
- после полной биологической очистки – 3.

Хлор, добавленный к сточной воде, должен быть тщательно перемешан с ней, а затем находиться в контакте со сточной водой не менее 30 минут, после чего количество остаточного хлора должно быть не менее  $1,5 \text{ г/м}^3$ .

Установка для обеззараживания сточных вод жидким хлором состоит из хлораторной, смесителя и контактных резервуаров. В хлораторной устанавливают хлораторы, служащие для дозирования хлора и получения хлорной воды, которая смешивается со сточной жидкостью. Для смешивания хлора со сточной водой пригодны смесители любого типа. Наиболее простым является ершовый смеситель, используемый при производительности 12 - 1400  $\text{м}^3/\text{сут}$ . Для расходов 1400 – 280000  $\text{м}^3/\text{сут}$ . применяют смесители типа «лоток Паршаля». Контактные резервуары выполняют по типу первичных отстойников, без скребков. Осадок из них направляют на иловые площадки.

При проектировании хлорного хозяйства следует руководствоваться требованиями главы СнИПа 2.04.02-84 [14] на проектирование наружных сетей и сооружений водоснабжения.

**Пример.** Рассчитать хлораторную установку и сооружения для смешения и контакта воды с хлором для очистной станции на полную биологическую очистку производительностью  $Q_{\text{срсут}} = 22000 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

Средний секундный расход воды на очистную станцию

$$q_{\text{ср}} = 22000 / (24 \cdot 3600) = 22000 / 86400 = 0,255 \text{ м}^3/\text{с}$$

Общий коэффициент неравномерности  $K_{\text{об макс}} = 1,57$ . Тогда максимальный часовой расход:

$$q_{\text{макс ч}} = q_{\text{срсут}} \cdot K_{\text{об макс}} / 24 = 22000 \cdot 1,57 / 24 = 1439 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Принимаем дозу хлора для дезинфекции вод  $D_{\text{хл}} = 3 \text{ г/м}^3$ . Расход хлора за 1 ч при максимальном расходе

$$q_{\text{хл}} = D_{\text{хл}} \cdot q_{\text{макс}\cdot\text{ч}} / 1000 = 3 \cdot 1439 / 1000 = 4,32 \text{ кг/ч.}$$

Расход хлора в сутки

$$q_{\text{хл}}' = D_{\text{хл}} \cdot q_{\text{срсут}} / 1000 = 3 \cdot 22000 / 1000 = 66 \text{ кг/сут.}$$

В хлораторной предусматривается установка двух хлораторов ЛОНИИ-100К. Один хлоратор рабочий, а другой – резервный.

Определим, сколько баллонов-испарителей необходимо иметь для обеспечения полученной производительности в 1 ч:

$$n_{\text{бал}} = q_{\text{хл}} / S_{\text{бал}} = 4,32 / 0,7 = 6,2$$

где  $S_{\text{бал}} = 0,7 \text{ кг/ч}$  – выход из одного баллона. Принимаем баллоны вместимостью 40 л, содержащие 50 кг жидкого хлора.

Проектом предусматриваются две самостоятельные установки для испарения хлора из баллонов и его дозирования. Одна из них является резервной.

В соответствии с действующими нормами для размещения оборудования и хлора в баллонах предусматривается строительство здания, состоящего из двух помещений: хлордозаторной и расходного склада хлора. Хлордозаторная оборудуется двумя выходами: один – через тамбур, второй – непосредственно наружу (со всеми дверями, открывающимися наружу). Расходный склад хлора изолируют от хлор дозаторной огнестойкой стеной без проемов.

Баллоны-испарители хранятся в расходном складе хлора. Для контроля за расходом хлора на складе устанавливают двое циферблатных весов марки РП-500-Г13(м), на которых размещается по шесть баллонов. Каждые весы с баллонами являются частью двух самостоятельных установок для испарения и дозирования хлора, работающих периодически.

Всего за 1 сут. будет использоваться  $66:50 = 1,3$  баллона. Таким образом, в момент начала работы установки, когда на весах будет установлено 12 баллонов, запас хлора будет достаточен для работы в течение  $12:1,3 = 9$  сут.

В хлордозаторной помещаем два хлоратора ЛОНИИ-100К и два баллона (грязевика) вместимостью 50 л. Каждый хлоратор, баллон (грязевик) и одни весы с баллонами-испарителями, расположенные на расходном складе, образуют самостоятельную технологическую схему для испарения и дозирования хлора, работающую периодически.

Хлордозаторная обеспечивается подводом воды питьевого качества с давлением не менее 0,4 МПа и расходом

$$Q = q_{\text{хл}} \cdot q_{\text{в}} = 4,32 \cdot 0,4 = 1,73 \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $q_{\text{в}} = 0,4 \text{ м}^3/\text{кг}$  – норма водопотребления,  $\text{м}^3$  на 1 кг хлора.

Хлорная вода для дезинфекции сточной воды подается перед смесителем. Принимаем смеситель типа «лоток Паршаля» с горловиной шириной 300 мм.

Для обеспечения контакта хлора со сточной водой запроектируем контактные резервуары по типу горизонтальных отстойников. Объем резервуаров

$$V_{кр} = Q_{\text{макс ч}} \cdot T / 60 = 1439 \cdot 30 / 60 = 719,5 \text{ м}^3,$$

где  $T = 30$  мин – продолжительность контакта хлора со сточной водой [14].

При скорости движения сточных вод в контактных резервуарах  $v = 10$  мм/с [14] длина резервуара

$$L = v \cdot T = 10 \cdot 30 \cdot 60 / 1000 = 18 \text{ м}$$

Площадь поперечного сечения

$$\omega = V_{кр} / L = 719,5 / 18 = 39,9 \text{ м}^2$$

При глубине  $H = 2,8$  м и ширине каждой секции  $b = 6$  м число секций

$$n = \omega / (b \cdot H) = 39,9 / (6 \cdot 2,8) = 2,38.$$

Фактическая продолжительность контакта воды с хлором в час максимального притока воды

$$T = V_{кр} / Q_{\text{макс ч}} = n \cdot b \cdot H \cdot L / Q_{\text{макс ч}} = 2 \cdot 6 \cdot 2,8 \cdot 18 / 1439 = 0,42 \text{ ч} = 25 \text{ мин.}$$

С учетом времени движения воды в отводящих лотках фактическая продолжительность контакта воды с хлором составит около 30 мин.

Принимаем контактные резервуары, разработанные ЦНИИЭП инженерного оборудования. Они имеют ребристое днище, в лотках которого расположены смывные трубопроводы с насадками, а по продольным стенам смонтированы аэраторы и перфорированные трубы. Осадок удаляют один раз в 5 – 7 сут. При отключении секции осадок взмучивается технической водой, поступающей из насадков, и возвращается в начало очистных сооружений. Для поддержания осадка во взвешенном состоянии смесь в резервуаре аэрируют.