



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Издательство МИСИ – МГСУ

РАЗРАБОТКА И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СООРУЖЕНИЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Учебно-методическое пособие

ISBN 978-5-7264-1963-3

© Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет, 2019

Москва
2019

СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 628.3
ББК 38.761.2
Р17

Авторы:

Е.В. Алексеев, Е.С. Гогина, Н.А. Макиша, С.Е. Алексеев

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *В.И. Баженов*,
исполнительный директор ЗАО «Водоснабжение и водоотведение»;
кандидат технических наук, доцент *П.Д. Викулин*,
доцент кафедры водоснабжения и водоотведения НИУ МГСУ

Р17 **Разработка и проектирование сооружений очистки сточных вод** [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / [авт.: Е.В. Алексеев, Е.С. Гогина, Н.А. Макиша, С.Е. Алексеев] ; М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. — Электрон. дан. и прогр. (25,1 Мб). — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2019. — Режим доступа: <http://lib.mgsu.ru/Scripts/irbis64r91/cgiirbis64.exe?C21COM=F&I21DBN=IBIS&P21DBN=IBIS>. — Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-7264-1963-3 (сетевое)

ISBN 978-5-7264-1962-6 (локальное)

В учебно-методическом пособии даны теоретические сведения и методики, необходимые для практических работ и курсового проектирования при выполнении расчетов сооружений и проектировании станций очистки сточных вод систем водоотведения населенных мест. Приведены методики и примеры расчетов по наиболее важным разделам курсового проекта.

Для обучающихся бакалавриата всех форм обучения по направлению подготовки 08.03.01 Строительство.

Учебное электронное издание

© Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет, 2019

Оглавление

Предисловие	5
1. СОСТАВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	5
1.1. Предпроектные изыскания	5
1.2. Проектирование и расчет очистных сооружений	5
1.3. Проектирование и расчет блока обработки осадков сточных вод	6
1.4. Планировочные решения и высотное проектирование очистных сооружений	6
2. УКАЗАНИЯ ПО СОДЕРЖАНИЮ И ВЫПОЛНЕНИЮ РАЗДЕЛОВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	6
2.1. Предпроектные изыскания	6
2.2. Проектирование и расчет очистных сооружений	7
2.3. Планировочное и высотное проектирование очистных сооружений	23
3. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ СООРУЖЕНИЙ И УПРАЖНЕНИЯ	30
3.1. Сооружения механической очистки	30
3.2. Сооружения биологической очистки	34
3.3. Сооружения обеззараживания	38
3.4. Сооружения блока обработки осадков	38
Библиографический список	43
Приложения	44

ПРЕДИСЛОВИЕ

Цель выполнения курсового проектирования и практических занятий — закрепление теоретического материала, развитие способности самостоятельно и творчески разрабатывать проекты специализированных блоков и станций очистки сточных вод населенных мест, приобретение обучающимися практических навыков получения и систематизации сведений о процессах очистки сточных вод, осадках и шламах, образующихся при этих процессах, а также выбора рациональных технических решений.

Целевые задачи курсового проектирования включают: определение количества сточных вод, поступающих от населенного места; определение основных показателей загрязненности сточных вод; сопоставление и анализ с заданными величинами показателей очищенной воды; определение и оценку условий формирования отходов при очистке сточных вод (осадков, шламов); обоснование процессов их обработки и принятие технически обоснованных решений по применению сооружений и оборудования при проектировании станции очистки сточных вод.

1. СОСТАВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект состоит из *пояснительно-расчетной записки* (ПРЗ) и графических материалов в форме чертежей.

ПРЗ должна включать *задание* на курсовое проектирование, содержащее необходимые данные для его выполнения, *аннотацию проекта* и *содержательную часть*, отражающую решение целевых задач курсового проекта. В заключительной части ПРЗ приводят библиографический список источников информации, использованных в процессе выполнения проекта.

Содержательная часть ПРЗ излагается по следующему примерному плану.

1.1. Предпроектные изыскания

Определение расчетных расходов сточных вод.

Определение показателей хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод.

Расчет показателей объединенных потоков (городских) сточных вод населенного места.

Оценка показателей поступающих сточных вод населенного места и сопоставление их с заданными значениями для очищенных вод.

Обоснование принципиальной схемы станции очистки сточных вод.

1.2. Проектирование и расчет очистных сооружений

Блок механической очистки сточных вод:

- схема блока механической очистки сточных вод;
- приемная камера;
- решетки (процеживатели);
- песколовки;
- первичные отстойники;
- расчет баланса загрязняющих веществ по блоку механической очистки сточных вод.

Блок биологической очистки сточных вод:

- схема блока биологической очистки сточных вод;
- аэротенки (биофильтры);
- вторичные отстойники.

Блок обеззараживания сточных вод:

- схема блока обеззараживания сточных вод;
- сооружения для обеззараживания сточных вод.

1.3. Проектирование и расчет блока обработки осадков сточных вод

Источники формирования осадков сточных вод на очистных сооружениях.

Принципиальная схема формирования и обработки осадков сточных вод.

Процесс обработки осадков сточных вод.

Сооружения и оборудование блока обработки осадков сточных вод.

По указанию руководителя проектирования в состав работы могут быть включены дополнительные разделы.

1.4. Планировочные решения и высотное проектирование очистных сооружений

В состав работ входят:

- выбор площадки для строительства очистных сооружений;
- мероприятия по улучшению экологической обстановки в районе очистной станции;
- расположение основных зданий и сооружений на площадке очистных сооружений;
- определение гидравлических потерь в сооружениях и коммуникациях;
- проектирование высотного расположения очистных сооружений.

В графической части курсового проекта представляют следующие обязательные чертежи:

- схему водоотведения населенного пункта с указанием места расположения очистных сооружений, санитарно-защитных зон и рельефа местности (в записке формат А4);
- генплан станции очистки сточных вод (Лист 1, формат А1–А2);
- схему высотного расположения очистных сооружений (Лист 2, формат А1–А2);
- ориентированный граф гидравлических потоков (там же);
- схему формирования осадков сточных вод (в записке формат А4);
- принципиальную схему процесса обработки осадков (Лист 2, формат А1–А2);
- схему процесса обработки осадков сточных вод с данными материального баланса по «твердой фазе» или генплан блока обработки осадков (там же).

По согласованию с руководителем проектирования графический материал может быть дополнен другими чертежами. Достаточный объем графического материала — 2–3 листа чертежей форматом А1–А2.

2. УКАЗАНИЯ ПО СОДЕРЖАНИЮ И ВЫПОЛНЕНИЮ РАЗДЕЛОВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Задание по курсовому проекту (далее — Задание), утвержденное руководителем проектирования, является единственным основанием для выполнения обучающимся курсового проекта (прил. 1).

По согласованию с руководителем в качестве исходных данных по очистным сооружениям могут быть взяты данные, полученные при прохождении производственной практики на существующих очистных сооружениях.

2.1. Предпроектные изыскания

В этом разделе курсового проекта обучающиеся приводят: краткое описание населенного пункта (города), включая предприятия, находящиеся в нем и подключенные к централизованной системе водоотведения; расположение населенного пункта относительно водоема.

Определение расчетных расходов сточных вод включает определение среднесуточного количества стоков, поступающих на очистные сооружения. Используя сведения о численности населения и норме водоотведения, необходимо выполнить расчет количества сточных вод от жилищно-коммунальной части города и производственного предприятия.

Определение показателей хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод выполняют по норме водоотведения и удельным количествам загрязняющих веществ [1].

Показатели сточных вод предприятия принимают по заданию или литературным источникам. Особое внимание должно быть уделено наличию в них специфических загрязняющих веществ, которые могут оказывать отрицательное влияние на работу очистных сооружений. Хозяйственно-бытовые сточные воды предприятия при раздельной системе водоотведения в курсовом проекте не учитывают.

Расчет показателей объединенных потоков (городских) сточных вод населенного места выполняют по сумме массовых расходов по аналогичным показателям коммунальных и производственных потоков сточных вод, отнесенной к сумме объемных расходов.

Оценка показателей поступающих сточных вод населенного места и сопоставление их с заданными значениями для очищенных вод включают анализ критериальных соотношений санитарно-химических показателей и сопоставление их с требованиями к очищенным водам, приведенными в задании на проектирование. Расчет необходимой степени очистки сточных вод проводят по двум показателям качества воды — взвешенным веществам и биохимическому потреблению кислорода (БПК).

Обоснование принципиальной схемы станции очистки сточных вод выполняют на основании анализа полученных результатов. При этом обосновываются система очистки сточных вод и принципиальная схема проектируемых очистных сооружений.

Несмотря на то, что на ближайшие годы биологическая очистка сточных вод, содержащих органические загрязняющие вещества, сохраняется как основной метод, следует уделять внимание и процессам физико-химической очистки сточных вод, в том числе и городских, что становится особенно перспективно с увеличением выпуска полиэлектролитов.

Основными направлениями проектирования сооружений биологической очистки сточных вод являются интенсификация их работы, расширение технологических задач в направлении извлечения биогенных элементов и внедрение более усовершенствованных конструктивных решений.

2.2. Проектирование и расчет очистных сооружений

Общие указания по проектированию очистных сооружений

До начала расчетов каждого блока очистных сооружений необходимо указать, решение каких функциональных задач обеспечивает данный блок. Далее следует обосновать конкретные типы сооружений, принимаемых к проектированию.

Расчеты очистных сооружений следует выполнять в точном соответствии с рекомендациями нормативных документов. В отдельных случаях допускаются отклонения от принятых методик применения нестандартных методов расчета, однако такие отступления от норм проектирования требуют обоснования. Расчеты решеток, песколовков, отстойников и контактных резервуаров производятся по максимальному часовому притоку сточных вод. Расчет аэротенков производится по среднечасовому поступлению воды за период аэрации в часы максимального притока.

Принимать к проектированию следует типовые сооружения (см. приложения). Лишь в тех случаях, когда применение типовых сооружений ведет к слишком большому превышению расчетного объема, возможно при соответствующем обосновании использование сооружений нестандартных размеров.

Количество однотипных сооружений и оборудования должно быть принято в соответствии с установленными правилами, однако следует избегать принятия числа сооружений менее двух, а также большого числа сооружений (более 6–8) относительно малых размеров.

После выбора каждого типового сооружения необходимо произвести проверочный расчет, если принятый объем сооружения отличается от требуемого по расчету более чем на 10 %.

В изложении материала о конкретных сооружениях в пояснительной записке необходимо привести их расчетные схемы и результаты расчета на ЭВМ.

Блок механической очистки сточных вод

Расчет решеток

Размер решеток определяется из условия обеспечения в прозорах скорости движения сточной воды $V_p = 0,8-1,0$ м/с при максимальном притоке на очистные сооружения.

Для решеток с прозорами шириной b , м, справедливо соотношение

$$q = \omega_p V_p = b h n V_p,$$

где q — максимальный расход сточных вод, м³/с; ω_p — площадь живого сечения прозоров всей решетки, м²; h — глубина воды перед решеткой, м; n — число прозоров.

Количество прозоров в решетках, необходимое для пропуска поступающих сточных вод, составит

$$n = q K_{ст} / b h V_p,$$

где $K_{ст}$ — коэффициент, учитывающий стеснение потока механическими граблями, $K_{ст} = 1,05-1,1$.

Общая ширина решеток B , м:

$$B = S(n-1) + b n,$$

где S — толщина стержней, м.

Исходя из общей ширины решеток, подбирают необходимое количество рабочих решеток. Дополнительно устанавливают 1-2 резервные решетки и предусматривают устройство обводной линии для пропуска воды в случае аварийного засора решеток.

Расчет песколовков

Расчет горизонтальных и аэрируемых песколовков заключается в определении размеров их поперечного сечения и длины. Площадь живого сечения одного отделения песколовков F , м²:

$$F = \frac{q_{\max}}{v n},$$

где q_{\max} — максимальный расход сточных вод, м³/с; v — продольная скорость движения воды, принимаемая в зависимости от расчетного диаметра улавливаемых частиц песка, м/с (табл. 1); n — количество отделений песколовков.

Таблица 1

Расчетные параметры песколовков

Диаметр частиц песка d , мм	Гидравлическая крупность u_0 , мм/с	Продольная скорость движения воды в песколовках, м/с	
		в горизонтальных	в аэрируемых
0,05	2,0	0,1–0,15	0,02–0,05
0,10	5,9	0,1–0,15	0,02–0,05
0,15	13,2	0,15–0,2	0,05–0,1
0,20	18,7	0,15–0,2	0,05–0,1

Длину песколовков, м, определяют по формуле

$$L = K h_{\max} v / u_0,$$

где K — коэффициент, учитывающий влияние турбулентного потока; h_{\max} — максимальная глубина проточной части песколовки, м; u_0 — гидравлическая крупность песка расчетного диаметра, м/с; v — продольная скорость движения воды в песколовках, м/с.

Величина K определяется по формуле

$$K = u_0 / (u_0^2 - \omega^2)^{0,5},$$

где ω — вертикальная турбулентная составляющая продольной скорости, $\omega = 0,05v$.

Расчет вертикальных и тангенциальных песколовков производится из условия задержания частиц с расчетной гидравлической крупностью $v < u_0$. Площадь зеркала песколовки в плане, м²:

$$F_{\text{план}} = q_{\max} / u_0 n,$$

где n — количество песколовков.

Высота цилиндрической части песколовки, м:

$$h_{ц} = tv,$$

где t — продолжительность пребывания воды в песколовке, $t = 120\text{--}180$ с; $v = u_0$.

Расчет отстойников

Метод расчета первичных отстойников заключается в выборе типа и необходимого числа типовых сооружений, обеспечивающих требуемый эффект осветления. Требуемая эффективность снижения концентрации взвешенных веществ при первичном осветлении воды в отстойнике $\mathcal{E}_{тр}$, %, рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E}_{тр} = \frac{(C_{en} - C_t)}{C_{en}} 100 \%,$$

где C_{en} — концентрация взвешенных веществ в сточной воде, поступающей на очистку, мг/л; C_t — концентрация взвешенных веществ в воде после первичного отстаивания, мг/л, принимаемая равной 100–150 мг/л.

Для достижения требуемого эффекта осветления при ближайшей соответствующей начальной концентрации взвешенных веществ определяется необходимая продолжительность отстаивания воды в покое t_{set} путем интерполяции данных:

$$t_{set} = t_{set(n)} + (t_{set(n+1)} - t_{set(n)} / \mathcal{E}_{n+1} - \mathcal{E}_n)(\mathcal{E}_{тр} - \mathcal{E}_n),$$

где $t_{set(n)}$ и $t_{set(n+1)}$ — продолжительность отстаивания, соответствующая эффективности осветления \mathcal{E}_n и \mathcal{E}_{n+1} , в интервале которых находится $\mathcal{E}_{тр}$, при условии, что $\mathcal{E}_n < \mathcal{E}_{тр} < \mathcal{E}_{n+1}$.

Условная гидравлическая крупность u_0 , мм/с, взвешенных веществ, которую необходимо обеспечить при отстаивании в покое при высоте осветления, равной глубине проточной части отстойника, рассчитывается по формуле, рекомендуемой действующим СП:

$$u_0 = \frac{1000H_{set}}{t_{set} (H_{set} / h_{set})^n},$$

где H_{set} — глубина проточной части отстойника, м, принимаемая предварительно на основе возможных глубин типовых отстойников в зависимости от их выбранного типа; h_{set} — глубина при отстаивании в покое, равная 0,5 м; n — показатель степени согласно рис. 1.

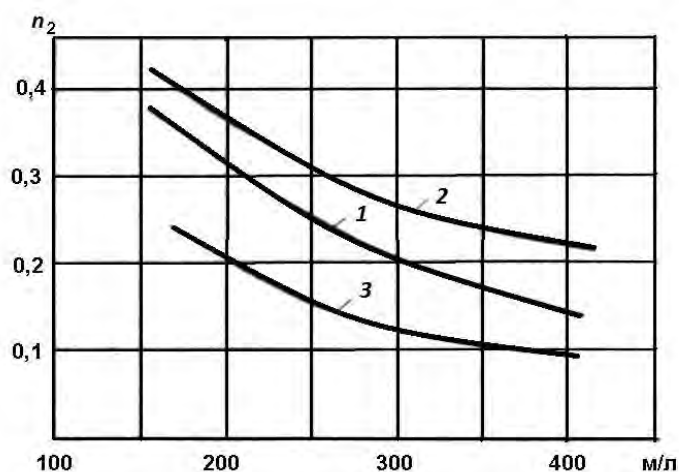


Рис. 1. Зависимость показателя n от начальной концентрации взвешенных веществ для различного эффекта отстаивания:
1 — $\mathcal{E} = 50\%$; 2 — $\mathcal{E} = 60\%$; 3 — $\mathcal{E} = 70\%$

Необходимая продолжительность осветления воды в отстойнике $t_{отс}$ рассчитывается по формуле

$$t_{отс} = \frac{1000H_{set}}{K_{set}u_0},$$

где K_{set} — коэффициент использования объема в зависимости от выбранного типа первичных отстойников.

Расчетный объем первичных отстойников $W_{\text{расч}}$, м³, определяется по формуле

$$W_{\text{расч}} = q_{\text{max}} t_{\text{отс}} / 3600.$$

Исходя из выбранного типа отстойников и их возможной компоновки, в схеме очистной станции принимаются необходимое число проектируемых отстойников $K_{\text{отс}}$ и их размеры, которые наиболее близко соответствуют величине $W_{\text{расч}}$, а также определяется фактический расход воды $q_{\text{факт}}$, м³/ч, на один отстойник:

$$q_{\text{факт}} = q_{\text{max}} / K_{\text{отс}}.$$

Фактическая средняя скорость потока $v_{\text{ср}}$, мм/с, в горизонтальном отстойнике шириной B :

$$v_{\text{ср}} = \frac{q_{\text{факт}} \cdot 1000}{BH_{\text{факт}} \cdot 3600}.$$

Для радиального или вертикального отстойника средняя скорость потока $v_{\text{ср}}$, мм/с, определяется на половине радиуса отстойника для $D_{\text{ср}} = d_{\text{факт}} / 2$:

$$v_{\text{ср}} = \frac{q_{\text{факт}} \cdot 1000}{\pi D_{\text{ср}} H_{\text{факт}} \cdot 3600}.$$

Вертикальная составляющая турбулентной пульсации ω , мм/с, в отстойнике:

$$\omega = 0,05 v_{\text{ср}}.$$

Фактическая продолжительность отстаивания воды $t_{\text{факт}}$, ч, в первичном отстойнике:

$$t_{\text{факт}} = W_{\text{факт}} / q_{\text{max}}.$$

Гидравлическая крупность взвешенных веществ $u_{\text{отс}}$, мм/с, задерживаемых в отстойнике принятых размеров и типа:

$$u_{\text{отс}} = \frac{1000 H_{\text{факт}}}{K_{\text{сет}} t_{\text{факт}} \cdot 3600}.$$

С учетом поправок на вертикальную составляющую турбулентной пульсации ω и увеличение вязкости воды μ при ее температуре в производственных условиях в зимний период, отличной от лабораторной ($T_{\text{лаб}} = 20$ °С), определяется фактическая гидравлическая крупность задерживаемых взвешенных веществ $u_{\text{факт}}$, мм/с:

$$u_{\text{факт}} = \mu_{\text{пр}} u_{\text{отс}} / \mu_{\text{лаб}} + \omega,$$

где $\mu_{\text{пр}}$ — динамическая вязкость сточной воды, г/(см·с), $\mu_{\text{пр}} = 1 + 0,0337T$.

Лабораторная продолжительность отстаивания в покое $t_{\text{лаб}}$, с, соответствующая фактической условной гидравлической крупности $u_{\text{факт}}$ и фактической глубине отстаивания $H_{\text{факт}}$:

$$t_{\text{лаб}} = 1000 H_{\text{факт}} / u_{\text{факт}} (H_{\text{факт}} / h_{\text{сет}})^n.$$

Путем интерполяции определяется фактический эффект осветления $\mathcal{E}_{\text{факт}}$, %, соответствующий продолжительности отстаивания $t_{\text{лаб}}$:

$$\mathcal{E}_{\text{факт}} = \mathcal{E}_n + (\mathcal{E}_{n+1} - \mathcal{E}_n)(t_{\text{лаб}} - t_n) / (t_{\text{сет}(n+1)} - t_{\text{сет}(n)}),$$

где $t_{\text{сет}(n)} < t_{\text{лаб}} < t_{\text{сет}(n+1)}$.

Концентрация взвешенных веществ C_t , мг/л, в осветленной воде:

$$C_t = C_{\text{en}} (1 - 0,01 \mathcal{E}_{\text{факт}}).$$

Эффективность снижения БПК в первичных отстойниках составляет $\mathcal{E}_{\text{БПК}} = 0,6 \mathcal{E}_{\text{факт}}$ и в осветленной воде равна

$$L_t = L_0 (1 - 0,01 \mathcal{E}_{\text{БПК}}),$$

где L_t — концентрация загрязнений по БПК в сточной воде после первичного отстаивания, мг·О₂/л; L_0 — концентрация загрязнений по БПК в сточной воде, поступающей на очистку, мг·О₂/л.

Расчет аэротенков

Выбор типа аэрационного сооружения и режима его работы производится исходя из состава очищенных сточных вод и требуемой глубины их очистки.

Расчетное время аэрации t_{atm} в аэротенках-смесителях рекомендуется определять по следующей формуле:

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

где L_{en} , L_{ex} — БПК_{полн} поступающей в аэротенк и очищенной сточной воды соответственно, мг/л; a_i — доза ила, г/л; S — зольность ила, которая принимается либо по экспериментальным данным, либо по данным работающих в аналогичных условиях очистных сооружений; ρ — удельная скорость окисления, мг БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества ила в 1 ч (мг/г·ч).

Иловый индекс I_i , характеризующий седиментационную способность ила, зависит от нагрузки на ил q_i , а следовательно, от нагрузки на ил будет зависеть и доза ила a_i в аэрационном сооружении. Практика показывает, что a_i может находиться в пределах 3–5 г/л — при продолженной аэрации; 3–4 г/л — при низкой нагрузке; 2,5–3,5 г/л — при средней и 2–3 г/л — при высокой нагрузке.

Удельная скорость окисления:

$$\rho = \rho_{max} \frac{L_{ex} C_O}{L_{ex} C_O + K_l C_O + K_O L_{ex}} \cdot \frac{1}{1 + \phi a_i},$$

где ρ_{max} — максимальная удельная скорость окисления тех или иных видов загрязнений, мг/(г·ч); C_O — концентрация растворенного кислорода в аэрационном сооружении, мг/л; K_l — константа, характеризующая свойства органических загрязняющих веществ, мг БПК_{полн}/л; K_O — константа, характеризующая влияние кислорода, мг·О₂/л; ϕ — коэффициент ингибирования биологических процессов продуктами распада активного ила, л/ч.

Значения ρ_{max} , K_l , K_O , ϕ , S определяются экспериментальным путем для различных загрязнений.

Период аэрации t_{atv} в аэротенках-вытеснителях:

$$t_{atv} = \frac{1 + \phi a_i}{\rho_{max} C_O a_i (1 - S)} \left((C_O + K_O)(L_{mix} - L_{ex}) + K_l C_O \ln \frac{L_{mix}}{L_{ex}} \right) K_p,$$

где K_p — коэффициент, учитывающий влияние продольного перемешивания (принимается равным 1,5 при биологической очистке до $L_{ex} \approx 15$ мг/л и 1,25 при $L_{ex} > 30$ мг/л); L_{mix} — БПК_{полн} поступающей в аэротенк сточной жидкости с учетом разбавления ее циркуляционным активным илом, мг/л:

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

где R_i — степень рециркуляции активного ила, определяется как

$$R_i = \frac{a_i}{1000 / I_i} - a_i,$$

где I_i — иловый индекс, см³/г.

При применении аэротенков с регенерацией активного ила вначале определяется необходимая продолжительность окисления загрязнений t_O по формуле

$$t_O = \frac{(L_{en} - L_{ex})}{R_i a_r (1 - S) \rho},$$

где a_r — доза ила в регенераторе, г/л, $a_r = a_i((1/2R_i) + 1)$; ρ — величина, рассчитываемая по приведенным выше формулам при дозе ила, равной a_r .

Продолжительность обработки воды собственно в аэротенке t_{at} , ч:

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

Продолжительность регенерации ила для окисления загрязнений t_r определяется как

$$t_r = t_O - t_{at}.$$

Вместимость аэротенков без регенераторов:

$$W_{at} = t_{at} q_w,$$

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

Вместимость аэротенков при наличии регенераторов ила:

$$W_{at} = t_{at} (1 + R_i) q_w.$$

Вместимость регенераторов:

$$W_r = t_r R_i q_w.$$

Отношение объема регенераторов к суммарному объему аэротенков и регенераторов, взятое в процентах, в суммарном объеме аэротенков и регенераторов вычисляется как

$$r = \frac{W_r}{W_{at} + W_r} 100 \text{ \%}.$$

Прирост активного ила P_i , мг/л, в аэротенках рекомендуется определять по формуле

$$P_i = 0,8 C_{cdp} + K_g \alpha_{en},$$

где C_{cdp} — концентрация взвешенных веществ в сточной воде, поступающей в аэротенк, мг/л; K_g — коэффициент прироста, для городских и близких к ним по составу производственных сточных вод $K_g = 0,3$, при очистке сточных вод в окситенках величина K_g снижается до 0,25.

Расчет пневматической системы аэрации

Чтобы определить необходимое количество воздуха для подачи в аэротенки, производится расчет удельного расхода воздуха q_{air} на 1 м³ очищаемой воды, м³/м³:

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

где q_o — удельный расход кислорода, мг на 1 мг снятой БПК_{полн}, принимаемый при очистке до БПК_{полн} = 15–20 мг/л равным 1,1, а до БПК_{полн} > 20 мг/л — 0,9;

K_1 — коэффициент, учитывающий тип аэратора, т.е. размер пузырьков воздуха, образующихся при выходе из аэратора. Для среднепузырчатой и низконапорной аэрации $K_1 = 0,75$. При мелкопузырчатой аэрации этот коэффициент будет зависеть от плотности расположения аэраторов, выражаемой через отношение суммарной площади аэраторов f_{ar} к площади днища аэротенков f_{at} ;

K_2 — коэффициент, зависящий от глубины погружения аэратора, h_a . Значение коэффициента K_2 возрастает с 0,4 при $h_a = 0,5$ м до 3,3 при $h_a = 6$ м;

K_m — коэффициент, учитывающий температуру сточных вод и равный 1,0 при $t_w = 20$ °С. Для температуры воды, отличной от 20 °С:

$$K_m = 1 + 0,02 (t_w - 20),$$

где t_w — среднемесячная температура воды за летний период, °С;

K_3 — коэффициент качества воды, принимаемый для городских сточных вод 0,85; для других видов сточных вод определяется экспериментальным путем. При наличии в сточных водах синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ) коэффициент K_3 в значительной степени зависит от отношения f_{ar}/f_{at} и изменяется от 0,59 при $f_{ar}/f_{at} = 0,05$ до 0,99 при $f_{ar}/f_{at} = 1,0$;

C_a — растворимость кислорода в воде, мг/л, рассчитывается как

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

здесь C_T — растворимость кислорода в воде в зависимости от температуры T и атмосферного давления:

$T, \text{°C}$	10	15	20	25	30
C_T	11,3	10,0	9,0	8,2	7,4

C_o — средняя концентрация растворенного кислорода в иловой смеси в аэротенке, мг/л; может приниматься от 0,5 в головной части аэротенка до 2 мг/л в хвостовой части.

Определив удельный расход воздуха, м³ на 1 м³ очищаемой жидкости, вычислим общую потребность воздуха, м³/ч:

$$Q_{air} = q_{air} q_w.$$

По пропускной способности аэратора определяются число и площадь пневматических аэраторов:

$$f_{ar} = 2n_a f_{ap},$$

где n_a — число аэраторов; f_{ap} — площадь одного аэратора.

В площадь аэраторов включаются и просветы между ними, если они не превышают площади аэратора, поэтому вводится коэффициент 2.

По полученному значению f_{ar} вычисляется отношение f_{ar}/f_{at} и уточняется значение всех коэффициентов, входящих в формулу определения удельного расхода воздуха (и зависящих от этого отношения), а также уточняется удельный расход воздуха. Если принятая в первом приближении величина f_{ar}/f_{at} совпадает с расчетной, то далее определяется интенсивность аэрации J_a , под которой понимается количество воздуха, подаваемое на 1 м² площади аэротенка в 1 ч (м²·ч):

$$J_a = q_{air} H_{at} / t_{at},$$

где H_{at} — глубина аэротенка.

Если же принятая в первом приближении величина f_{ar}/f_{at} отличается от величины, получаемой в результате проведенного расчета, то принимается новое значение f_{ar}/f_{at} и соответствующее ему значение коэффициента K_1 , и процедура удельного расхода воздуха повторяется до тех пор, пока значение K_1 не будет равным получающемуся в результате расчета.

Максимальные значения интенсивности зависят от отношения площади аэраторов к площади днища аэротенка, т.е. от f_{ar}/f_{at} , и изменяются от 5 м³/(м²·ч) при $f_{ar}/f_{at} = 0,05$ до 100 м³/(м²·ч) при $f_{ar}/f_{at} = 1$.

Если расчетное значение J_a превышает максимально допустимое для данных условий, то необходимо увеличить площадь аэрируемой зоны, т.е. увеличить число аэраторов. Если J_a меньше минимально допустимого ее значения, то следует увеличить расход воздуха.

Расчет воздухопроводов состоит в подборе диаметров трубопроводов и определении потерь напора в них. Скорость движения воздуха в общем и распределительном воздухопроводах обычно принимают равной 10–15 м/с; в воздухопроводах небольшого диаметра, подающих воздух в лотки под фильтры, — 4–5 м/с.

Общие гидравлические потери напора в воздуховоде h , м, складываются из потерь на трение по длине и местных сопротивлений:

$$h = h_{тр} + h_m = \frac{\lambda}{D} \frac{v^2}{2g} \gamma + \frac{\zeta v^2}{2g} \gamma = \left(\frac{\lambda}{D} + \zeta \right) \frac{v^2}{2g} \gamma,$$

где $h_{тр}$ — потери напора в воздуховоде на трение по длине, м; h_m — местные потери напора, м; λ — коэффициент сопротивления; l , D — длина и диаметр трубопровода, м; v — скорость движения воздуха в трубопроводе, м/с; g — ускорение свободного падения, м/с²; γ — плотность воздуха, кг/м³; ζ — суммарный коэффициент местных сопротивлений.

Суммарное значение местных сопротивлений и сопротивлений на трение в воздухопроводах не должно превышать 0,3–0,35 м. Сопротивление фильтровых пластин быстро возрастает по мере эксплуатации, поэтому при определении общего напора воздуходувки сопротивление проходу воздуха через фильтровые пластины следует принимать 500–800 мм. Требуемый общий напор $H_{общ}$, м, при распределении воздуха через пористые диффузоры составит

$$H_{общ} = h_{тр} + h_m + h_{ф} + h_a,$$

где $h_{ф}$ — высота фильтровых пластин, h_a — глубина воды в аэротенке (от поверхности воды до поверхности диффузора).

На воздуходувной станции следует устанавливать не менее двух воздуходувок — рабочую и запасную. Для обеспечения маневренности во время эксплуатации лучше устанавливать не менее двух рабочих воздуходувок. Воздуходувки подбирают по каталогу, исходя из общих потерь напора и расчетного расхода воздуха.

При благоприятных условиях допускается установка воздуходувок в непосредственной близости к аэротенкам.

Расчет биофильтров

При расчете *высоконагружаемых биофильтров* необходимый объем материала загрузки определяется по уравнению

$$W = L_{en}Q / OM,$$

где L_{en} — БПК поступающих сточных вод, г/м³; Q — расход сточных вод, м³/сут; OM — окислительная мощность биофильтра, г/(м³·сут).

Предложен графоаналитический способ расчета высоконагружаемых биофильтров, в основу которого положена функциональная зависимость БПК₅ (БПК за пять суток инкубации) выходящей после очистки на биофильтре воды от ряда факторов:

$$L_{ex} = f(L_{en}, A, q, T, H, B),$$

где L_{ex} , L_{en} — БПК сточных вод выходящих и поступающих соответственно, г/м³; A — концентрация взвешенных загрязнений в сточных водах, поступающих на биофильтр, г/м³; q — гидравлическая нагрузка, м³/(м²·сут); T — температура сточной воды, °С; H — высота биофильтра, м; B — расход воздуха, необходимый для аэрации 1 м³ сточной воды, м³.

Критериальная зависимость:

$$\Theta = f(\Phi);$$

$$\Theta = L_{ex} \cdot 100 \% / q^{0.4};$$

$$\Phi = 10HK_T / q^{0.4},$$

где Φ — критериальный комплекс; K_T — температурная константа.

Зависимость для определения параметров биофильтров:

$$\lg(L_{en} / L_{ex}) = \alpha HB^{0.6} K_T / q^{0.4} + \beta,$$

где α и β — постоянные коэффициенты; K_T — температурная константа потребления кислорода, вычисляемая по формуле

$$K_T = 0,2 \cdot 1,047^{T-20}.$$

Метод расчета по критериальному комплексу может применяться при гидравлической нагрузке от 1 до 30 м/(м²·сут) и высоте биофильтра до 4 м. Эффективность работы биофильтров напрямую связана с крупностью фракций загрузочного материала и его пористостью.

При расчете *биофильтров с плоскостной загрузкой* величина L_{ex} является функцией следующих величин:

$$L_{ex} = f(L_{en}, q_{pf}, S_{уд}, T, B, H, P),$$

где q_{pf} — гидравлическая нагрузка, м³/(м²·сут); $S_{уд}$ — удельная поверхность загрузочного материала, м²/м³; T — температура сточной воды, °С; B — расход воздуха, м³ на 1 м³ сточной воды; H — высота биофильтра, м; P — пористость загрузочного материала, %.

В биофильтрах с плоскостной загрузкой аэрация осуществляется естественным путем, поэтому можно считать, что воздуха вполне достаточно, и функциональную зависимость для L_{ex} можно записать в виде

$$L_{ex} = f(F, T, H, P),$$

где F — масса органических загрязнений по БПК₅, поступающих в сутки на единицу площади поверхности загрузочного материала биофильтра, г/(м²·сут),

$$F = L_{en} q_n S_{уд}.$$

Для биофильтров с плоскостной загрузкой критериальная зависимость может быть представлена в следующем виде:

$$\eta = PHK_t / F.$$

В табл. 2 приведены значения критериального комплекса η в зависимости от БПК₅ очищенной сточной воды. Полученная зависимость может быть выражена аналитически.

Таблица 2

Значения критериального комплекса η

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

При расчете *капельных биофильтров* сначала вычисляется коэффициент K : $K = L_{en}/L_{ex}$, где L_{en} , L_{ex} — БПК_{полн} сточных вод поступающих и очищенных соответственно. Затем по среднезимней температуре сточной воды T и значению K в табл. 3 определяются высота биофильтра H и гидравлическая нагрузка q . Если полученное значение K превышает значения, приведенные в табл. 3, то необходимо вводить рециркуляцию и высчитывать по методике расчета высоконагружаемых биофильтров с рециркуляцией.

Таблица 3

Параметры для расчета капельных биофильтров

Гидравлическая нагрузка, м ³ /(м ² ·сут)	Значения K при температуре сточной воды T , °С			
	8	10	12	14
1	8,0*/11,6**	9,8/12,6	10,7/13,8	11,4/15,1 10,0/12,8 8,0/11,5
1,5	5,9/10,2	7,0/10,9	6,6/10,7	6,7/10,7
2	4,9/8,2	7,0/10,0	5,6/10,1	5,9/10,2
2,5	4,3/6,9	4,9/8,3	5,0/8,6	11,4/15,1 10,0/12,8 8,0/11,5
3	3,8/6,0	4,4/7,1	8,2/11,7	6,7/10,7

* первое число — для высоты $H = 1,5$ м; ** второе число — для высоты $H = 2$ м

По расходу очищаемых сточных вод Q , м³/сут, и гидравлической нагрузке q , м³/(м²·сут), вычисляется общая площадь биофильтров S , м²: $S = Q/q$.

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

При расчете *высоконагружаемых биофильтров* их высоту назначают в зависимости от БПК_{полн} очищенной сточной воды, а гидравлическую нагрузку — в пределах 10–30 м³/м²·сут. Допустимое значение БПК поступающих на биофильтр сточных вод — 300 мг/л.

Расчет высоконагружаемых биофильтров производится в следующей последовательности: 1) определяется коэффициент K ; 2) по среднезимней температуре сточной воды T и найденному значению K определяют высоту биофильтра H , гидравлическую нагрузку q и расход воздуха $V_{уд}$ по табл. 4; для очистки без циркуляции значения H , q и $V_{уд}$ следует принимать по ближайшему большему значению K , для очистки с рециркуляцией — по меньшему значению K .

Таблица 4

Параметры для расчета высоконагружаемых биофильтров

Высота биофильтра H , м	Значение K при среднезимней температуре сточной воды T , °С							
	8		10		12		14	
	и гидравлической нагрузке q , м ³ /(м ² ·сут)							
	10	20	10	20	10	20	10	20
При $V_{уд} = 8$ м ³ на 1 м ³ воды								
2	3,02	2,32	3,38	2,5	3,76	2,74	4,3	3,02
3	5,25	3,53	6,2	3,96	7,32	4,64	8,95	5,25
4	9,05	5,37	10,4	6,25	11,2	7,54	12,1	9,05
При $V_{уд} = 10$ м ³ на 1 м ³ воды								
2	3,69	2,89	4,08	3,11	4,5	3,36	5,09	3,67
3	6,1	4,24	7,08	4,74	8,23	5,31	9,9	6,04
4	10,1	6,23	12,3	7,18	15,1	8,45	16,4	10,0
При $V_{уд} = 12$ м ³ на 1 м ³ воды								
2	4,32	3,38	4,76	3,72	5,31	3,98	5,97	4,31
3	7,25	5,01	8,35	5,55	9,9	6,35	11,7	7,2
4	12,0	7,35	14,8	8,5	18,4	10,4	23,1	12,0

При очистке без рециркуляции находят площадь биофильтров. При очистке сточных вод с рециркуляцией определяют допустимую БПК_{полн} смеси поступающей и рециркуляционной сточной воды, подаваемой на биофильтр, $L_{см}$, мг/л, коэффициент рециркуляции K_{rc} и площадь биофильтров S :

$$L_{mix} = KL_{ex};$$

$$K_{rc} = (L_{en} - L_{mix}) / (L_{mix} - L_{ex});$$

$$S = Qn_{рец} + 1/q.$$

При расчете высоконагружаемых биофильтров для сточных вод, имеющих $T < 8$ °С и $T > 14$ °С, коэффициент K определяется интерполяцией по табл. 4.

При расчете биофильтров с плоскостной загрузкой допустимое значение БПК_{полн} поступающих сточных вод при полной биологической очистке — 250 мг/л, при неполной очистке — не ограничивается. Гидравлическая нагрузка зависит от необходимой степени очистки и количества органических загрязнений в поступающей сточной воде.

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

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

$$\eta = PNK_T / F;$$

$$F = L_{en}q / S_{уд} = M / S_{уд},$$

где q — гидравлическая нагрузка, $m^3/(m^3 \cdot \text{сут})$; $S_{уд}$ — площадь удельной поверхности загрузочного материала, m^2/m^3 ; M — нагрузка по БПК на $1 m^3$ объема биофильтра, $г/(m^3 \cdot \text{сут})$;

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

$$F = PHK_T / \eta;$$

3) по заданной величине L_{ex} и конструктивному размеру $S_{уд}$ находится допустимая гидравлическая нагрузка q_n , $m^3/(m^3 \cdot \text{сут})$:

$$q_n = FS_{уд} / L_{en};$$

4) по заданному суточному расходу Q , $m^3/\text{сут}$, и подсчитанной величине q_n определяется объем загрузочного материала биофильтра, а затем — число биофильтров и их конструктивные размеры.

Для расчета биофильтров с плоскостной загрузкой приведены табл. 5 и 6 (для блоков с пористостью 93–96 % — $S_{уд} = 90–110 m^2/m^3$, $L_{en} = 200–250$ мг/л).

Таблица 5

Допустимая гидравлическая нагрузка на биофильтры с плоскостной загрузкой								
Необходимый эффект очистки, %	Гидравлическая нагрузка, $m^3/(m^3 \cdot \text{сут})$, при высоте слоя, м							
	3				4			
	и среднезимней температуре сточной воды, °С							
	8	10	12	14	8	10	12	14
90	6,3	6,8	7,5	8,2	8,3	9,1	10	10,9
85	8,4	9,2	10,0	11,0	11,2	12,3	13,5	14,7
80	10,2	11,2	12,3	13,3	13,7	15,0	16,4	17,9

Таблица 6

Допустимая органическая нагрузка на биофильтр с плоскостной загрузкой						
БПК ₅ очищенной воды, мг/л	Нагрузка по БПК ₅ $г/(m^3 \cdot \text{сут})$, при высоте загрузки, м					
	3			4		
	и среднезимней температуре сточной воды, °С					
	10–12	13–15	16–20	10–12	13–15	16–20
15	1150	1300	1550	1500	1750	2100
20	1350	1550	1850	1800	2100	2500
25	1650	1850	2200	2100	2450	2900
30	1850	2100	2500	2450	2850	3400
40	2150	2500	3000	2900	3200	4000

Расчет вторичных отстойников

Для вторичных вертикальных, горизонтальных и радиальных отстойников *после аэротенков* идет расчет по гидравлической нагрузке воды на поверхность отстойника q_{ssa} , $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$:

$$q_{ssa} = 4,5 K_{set} H_{set}^{0,8} / (0,1 I_i a_i)^{0,5-0,01 a_i},$$

где K_{set} — коэффициент использования объема отстойника; H_{set} — глубина слоя осветляемой воды в отстойнике, м; I_i — иловый индекс, мг/г; a_i — доза активного ила в иловой смеси, поступающей из аэротенков, г/л; a_t — требуемая конечная концентрация иловых частиц в осветленной биологически очищенной воде.

Площадь вторичных отстойников F_{ssa} , м^2 , вычисляется по формуле

$$F_{ssa} = q_{mid} K_{gen} / q_{ssa} \quad (q_{mid} K_{gen} = q_{max}).$$

Принимается количество вторичных отстойников (желательно не менее четырех) и определяется их диаметр d , м (для горизонтальных отстойников длина и ширина):

$$d = \sqrt{4 F_{ssa} / \pi n_{\Pi}}.$$

Для вторичных отстойников *после биофильтров* идет расчет по нагрузке воды на их поверхность q_{ssb} , $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$:

$$q_{ssb} = 3,6 K_{set} u_0,$$

где K_{set} — коэффициент использования объема, принимаемый в зависимости от типа отстойника; u_0 — гидравлическая крупность биопленки, при полной биологической очистке равная 1,4 мм/с.

Площадь поверхности отстойников F_{ssb} , м^2 , определяют с учетом рециркуляционного расхода:

$$F_{ssb} = Q_{\text{ч}}^{\text{max}} (K_{rc} + 1) / q_{ssb},$$

где $Q_{\text{ч}}^{\text{max}}$ — максимальный часовой расход сточных вод; K_{rc} — коэффициент рециркуляции.

Блок обеззараживания сточных вод

Обеззараживание на основе метода хлорирования

При проектировании блока обеззараживания воды с использованием метода хлорирования в первую очередь рассчитывают необходимый часовой или суточный расход хлорсодержащего реагента (в пересчете на активный хлор). Согласно требованиям для действующих объектов расчетную дозу активного хлора следует принимать с учетом хлоропоглощаемости сточных вод при обеспечении остаточного хлора в очищенной воде после 30 мин контакта не менее 1,5 мг/л. Хлорное хозяйство станций очистки сточных вод должно обеспечивать возможность увеличения расчетной дозы хлора до 1,5 раза без изменения вместимости склада.

При удалении проектируемого блока обеззараживания от ближайшей жилой застройки менее чем на 1,5 км применение сжиженного хлора и складирование недопустимо по соображениям обеспечения промышленной безопасности. В этом случае в качестве хлорсодержащих реагентов следует применять: привозные гипохлорит натрия или кальция на сооружениях небольшой производительности либо гипохлорит натрия или хлор, получаемые на месте применения электрохимическим способом.

Блок обеззараживания сточных вод с применением хлорсодержащих реагентов состоит из хлораторной, располагающейся в отдельно стоящем здании со складом реагента, и открытого контактного резервуара со смесителем. Для дехлорирования обеззараженной воды перед выпуском ее в водоем возможно применение дополнительных контактных бассейнов или реагентной обработки.

Расчетную дозу активного хлора D_{Cl} , обеспечивающую бактерицидный эффект, следует принимать: после механической очистки сточных вод — 10 г/м^3 ; после неполной биологической очистки — 5 г/м^3 ; после полной биологической очистки — 3 г/м^3 . При этом уровень остаточного хлора должен быть не менее $1,5 \text{ г/м}^3$, а период — не менее 30 мин.

При максимальном расходе сточной воды необходимое количество гипохлорита будет составлять

$$Q_{Cl} = D_{Cl} q_{\text{max}}.$$

Общее количество гипохлорита натрия, потребного для дезинфекции очищенных сточных вод, в сутки:

$$Q_{\text{NaOCl}} = Q_{\text{Cl}} / 100.$$

Для контактных резервуаров расчет идет по времени нахождения сточной воды в трубопроводах и самом контактном резервуаре в течение 30 мин. Объем контактного резервуара вычисляется по следующей формуле:

$$V_{\text{к.р}} = q_{\text{ч}}^{\text{max}} t / 60,$$

где t — продолжительность контакта хлорной воды со сточной водой в течение часа.

При скорости движения сточной воды в контактных резервуарах $v = 10$ мм/с длина резервуара составит: $L = vt$.

Площадь поперечного сечения равна: $\omega = V_{\text{к.р}} / L$.

Количество секций контактного резервуара будет составлять

$$n = \omega / bH.$$

Принимаем к строительству четыре секции контактных резервуаров.

Фактическая продолжительность контакта очищенной сточной воды с хлором в течение часа максимального притока будет равна

$$T = v_{\text{к.р}} / q_{\text{ч}}^{\text{max}} = nbHL / q_{\text{ч}}^{\text{max}}.$$

Обеззараживание на основе метода ультрафиолетового облучения

При проектировании блока обеззараживания и подборе оборудования доза ультрафиолетового облучения определяется характером и качеством очистки сточных вод, но она должна быть не менее 30 мДж/см².

На станциях очистки городских сточных вод производительностью более 50 000 м³/сут предпочтительнее использование установок безнапорного лоткового типа с целью обеспечения самотечного движения обрабатываемой воды на станции. Установки корпусного (напорного) типа целесообразно использовать, когда очищенные сточные воды направляются для повторного использования и транспортируются по напорным водоводам.

Блок обработки осадков сточных вод

Блок обработки осадков сточных вод разрабатывают после завершения проектирования основных очистных сооружений, используя данные технологических показателей их работы.

Источники формирования осадков сточных вод на очистных сооружениях

На данном этапе выполнения курсового проекта рекомендуется графически составить схему формирования потоков исходных осадков, отводимых от очистных сооружений, определить их количество и показатели по твердой фазе.

Схема формирования потоков исходных осадков может быть размещена в пояснительной записке. На схеме приводят ступени обработки воды в графических примитивах и указывают виды отводимых осадков стрелками с буквенно-цифровыми обозначениями (рис. 2).

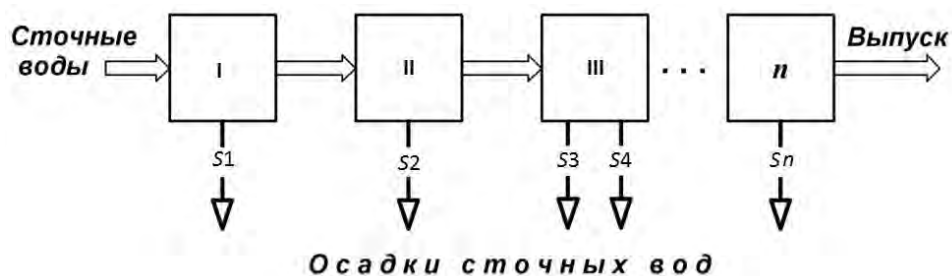


Рис. 2. Фрагмент схемы формирования потоков исходных осадков на очистных сооружениях:

I, II, III, ..., n — стадии очистки сточных вод;
S1, S2, ..., Sn — потоки концентратов загрязняющих веществ (осадки)

Используя сведения о показателях осадков (прил. 2), необходимо рассчитать количество и показатели исходных осадков проектируемого блока:

$$G_s = n_s N_{\text{ж}} / 1000,$$

где G_s — расход осадка по массе сухого вещества, кг/сут; n_s — удельное количество осадка по сухому веществу, г/(чел.·сут); $N_{\text{ж}}$ — количество жителей, чел.;

$$Q_s = 0,1G_s / (100 - P),$$

где Q_s — расход осадка по объему, м³/сут; P — влажность осадка, %.

Результаты расчетов показателей исходных осадков от всех стадий очистки сточных вод приводят в форме табл. 7.

Таблица 7

Ведомость потоков исходных осадков станции очистки сточных вод

Вид осадка	Обозначение*	Показатели осадков			
		Расход осадка по объему, м ³ /сут	Расход осадка по массе сухого вещества, кг/сут	Влажность, %	Зольность сухого вещества, %
Исходные осадки					
Отбросы с решеток	S1				
Песок из песколовков	S2				
Осадок из первичных отстойников	S3				
Всплывающие вещества из отстойников	S4				
...

* принимают в соответствии со схемой формирования потоков осадков сточных вод (см. рис. 2)

В тексте ПРЗ необходимо пояснить особенности отведения исходных осадков (способ отведения, периодичность выгрузки и другие сведения).

Сформированную табл. 7 рекомендуется преобразовать в электронную, например в формате MS Excel. Это будет полезно в дальнейшей работе над проектом.

Разработку *принципиальной схемы формирования и обработки осадков очистных сооружений* следует начать с принятия решения по общей стратегии достижения целевого назначения обработанных осадков (по заданию).

Принятое решение будет обуславливать необходимость осуществления таких процессов обработки осадков, как стабилизация, обезвоживание и обеззараживание осадков. Далее, на основе схемы формирования потоков исходных осадков и их показателей следует принять и обосновать в ПРЗ решение по необходимости объединения одних потоков характерных осадков и выделению в самостоятельные направления обработки других потоков.

Расчетная часть этого этапа заключается в составлении баланса по объемным расходам, включая возвратные потоки от технологических ступеней. Расчеты рекомендуется выполнять в электронной таблице, приняв за основу электронный вариант табл. 7, дополнив ее данными по смесям исходных осадков в первоначальном состоянии и после соответствующих ступеней обработки.

Изменение объема осадка при изменении его влажности, например при обезвоживании, находят по выражению

$$Q_{sp2} = Q_{sp1} (100 - P_1) / (100 - P_2),$$

где Q_{sp1} и Q_{sp2} — объемные расходы осадка при влажности P_1 и P_2 соответственно.

При этом сохраняется равенство

$$Q_{sp1} = Q_{sp2} + Q_w,$$

где Q_w — объемный расход отделенной жидкости (надосадочная жидкость, фильтрат и т.п.).

Потерями объема осадков в балансе по объемным расходам допустимо пренебречь. Результаты расчетов приводят в форме табл. 8 в ПРЗ.

Таблица 8

Сводная ведомость потоков осадков станции очистки сточных вод

Вид осадка	Обозначение*	Показатели осадков	
		Расход осадка по объему, м ³ /сут	Влажность, %
Исходные осадки			
Отбросы с решеток	S1		
Песок из песколовков	S2		
Осадок из первичных отстойников	S3		
Всплывающие вещества из отстойников	S4		
...
Смеси исходных осадков			
Смесь осадка и всплывающих веществ из первичных отстойников (S3 + S4)	Sm1		
...
Смеси обработанных осадков			
Сброженная смесь осадков из первичных и вторичных отстойников (S3 + S5)	St1		
...

* принимается в соответствии с принципиальной схемой формирования и обработки осадков сточных вод (рис. 3)

Графическая часть этого раздела должна быть представлена на Листе 1 чертежей форматом А2 в виде «Принципиальной схемы формирования и обработки осадков сточных вод» (рис. 3).

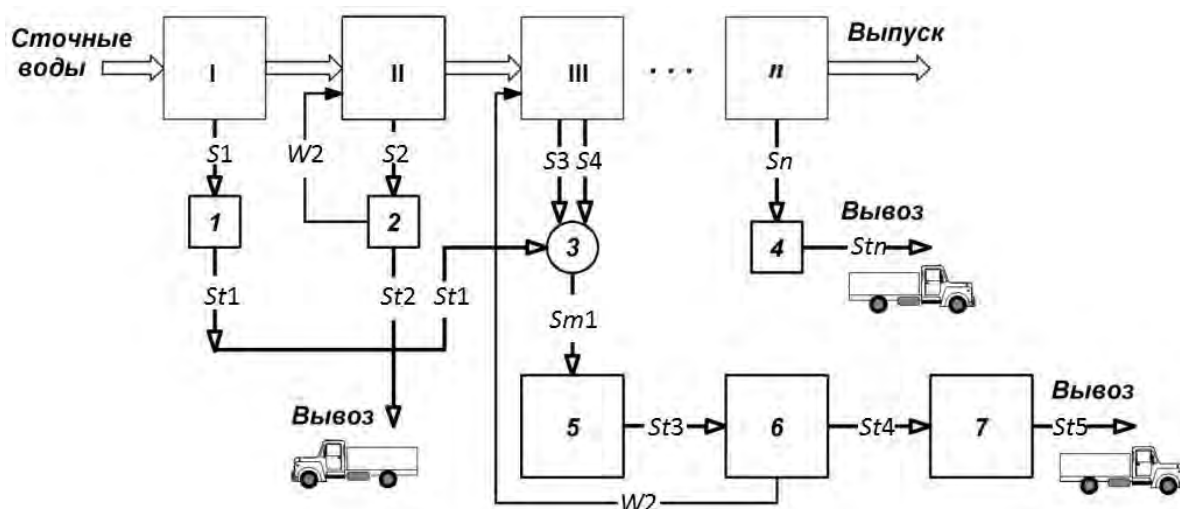


Рис. 3. Фрагмент варианта принципиальной схемы формирования и обработки осадков сточных вод:
1–7 — элементы процесса обработки осадков

На этом этапе разработки проекта схему формирования потоков осадков (см. рис. 2) развивают, дополняя ее линиями объединенных (смешанных) осадков с их последующей обработкой вплоть до получения целевого продукта.

На схеме также приводят принципиальные решения по стадиям обработки выделенных потоков осадков (стабилизация, обезвоживание и т.п.). Технологические связи по объемным расходам на принципиальной схеме приводят линиями с буквенно-цифровыми обозначениями.

По согласованию с руководителем проектирования возможен вариант разработки генплана блока обработки осадков.

Принятые на Листе 3 обозначения технологических элементов приводят в перечне в форме табл. 9.

Таблица 9

Перечень элементов (стадий) обработки осадков

Номер на схеме	Наименование	Примечание
1	Измельчение отбросов с решеток	
...	...	
15 мм*	120 мм*	50 мм*

* размер колонки в таблице

Обозначения трубопроводов на принципиальной схеме формирования и обработки осадков сточных вод также приводят на Листе 3 в ведомости трубопроводов по форме, приведенной в табл. 10.

Таблица 10

Ведомость трубопроводов (пример)

Обозначение	Вид жидкости	Расход, м ³ /сут	Примечание
S1	Отбросы с решеток		
St1	Дробленые отбросы с решеток		
S2	Пульпа из песколовок		
St2	Промытый песок на утилизацию		
S3	Осадок из первичных отстойников		
S4	Всплывающие вещества из отстойников		
Sm1	Смесь осадка и всплывающих веществ из первичных отстойников (S3 + S4)		
St3	Сброженная смесь осадков из первичных и вторичных отстойников и дробленых отбросов (S3 + S4 + St1)		
...	

Схема процесса обработки осадков сточных вод

Синтез процесса обработки осадка непосредственно подчинен решению целевой задачи. Важным этапом этого процесса является составление подробной схемы, разработка которой заключается в доработке и детализации оборудования и сооружений принципиальной схемы обработки осадка. На данном этапе выполнения проекта следует выбрать основное и вспомогательное оборудование и сооружения, способы транспортирования осадков и жидкостей.

В соответствии с выбранными типами оборудования и сооружений выполняют подбор серийного оборудования, если оно существует.

При прочих равных условиях предпочтение следует отдавать конкурентно способным образцам отечественного производства.

Сооружения и оборудование блока обработки осадков сточных вод

В расчетной части ПРЗ приводят обоснования выбора типов оборудования и сооружений, их расчет и подбор типоразмеров и количества устанавливаемых единиц. Расчет сооружений ведут в соответствии с рекомендованными методиками. Подбор специального оборудования принимают по материалам, приведенным в приложениях и по другим источникам технической информации.

Количество однотипных сооружений должно быть принято не менее двух, однако следует избегать принятия большого числа сооружений (более 6–8) относительно малых размеров. После выбора каждого типового сооружения необходимо произвести проверочный расчет, если принятый объем сооружения отличается от требуемого по расчету более чем на 20 %.

Кроме этого, необходимо определить показатели и количество осадков по сухому веществу («твердой фазе») и отделяемых вод (надосадочных жидкостей, фильтратов, фугатов, кека и т.п.). Изменением концентрации в исходных жидких средах при поступлении в них возвратных потоков в расчетах допускается пренебречь:

$$G_s = 10Q_s(100 - P).$$

Результаты расчетов приводят в ПРЗ в форме табл. 11.

Таблица 11

Сводная ведомость массовых потоков осадков станции очистки сточных вод

Вид осадка	Обозначение*	Показатели осадков	
		Расход осадка по массе твердой фазы, т/сут	Влажность, %
Исходные осадки			
Отбросы с решеток	$S1$		
Песок из песколовков	$S2$		
Осадок из первичных отстойников	$S3$		
Всплывающие вещества из отстойников	$S4$		
...
Смеси исходных осадков			
Смесь осадка и всплывающих веществ из первичных отстойников ($S3 + S4$)	$Sm1$		
...
Смеси обработанных осадков			
Сброженная смесь осадков из первичных и вторичных отстойников и отбросов с решеток ($S3 + S4 + St1$)	$St3$		
...

* принимается в соответствии с принципиальной схемой формирования и обработки осадков сточных вод (см. рис. 3)

Графическая часть этого раздела должна быть представлена на Листе 3 чертежей. Содержание графической части работы включает подробную схему процесса обработки осадков очистных сооружений, экспликацию сооружений и оборудования, принятых на основании выполненного расчета.

Для наглядности рекомендуется использовать графические примитивы в виде упрощенных вертикальных разрезов сооружений и оборудования. Кроме основных сооружений и оборудования необходимо привести вспомогательные емкости, емкости для приготовления реагентов, смесители, насосные установки и т.д. Все технологические связи, включая трубопроводы и транспортеры, следует нанести, соблюдая принятые обозначения на принципиальной схеме.

Перечень основных сооружений и оборудования приводят в экспликации на Листе 3, оформленной по стандартной форме. Там же приводят перечень потоков осадков (трубопроводов) с указанием массовых расходов по сухому веществу твердой фазы (табл. 12).

Таблица 12

Перечень потоков осадков по сухому веществу (пример)

Обозначение	Вид жидкости	Расход, т/сут	Примечание
$S1$	Дробленые отбросы с решеток		
$S2$	Пульпа из песколовков		
$S3$	Осадок из первичных отстойников		
$S4$	Всплывающие вещества из отстойников		
$Sm1$	Смесь осадка и всплывающих веществ из первичных отстойников ($S3 + S4$)		
$St3$	Сброженная смесь осадков		
...	

По согласованию с руководителем проектирования, на Листе 3 может быть представлен план блока обработки осадков на площадке очистных сооружений, разработанный при выполнении первой части проекта в более крупном масштабе.

2.3. Планировочное и высотное проектирование очистных сооружений

Выбор площадки для строительства очистных сооружений

Выбор площадки под строительство начинают с составления ситуационного плана населенного места, на который наносят горизонтали, внешние очертания населенного места, контуры водоема и направления господствующих ветров. Ситуационный план выполняют на листе формата А4 и прикладывают к ПРЗ (рис. 4). В качестве ситуационного плана может быть принята схема водоотведения населенного места (города), разработанная в курсовом проекте по дисциплине «Водоотводящие системы и сооружения» в масштабе 1:25 000.

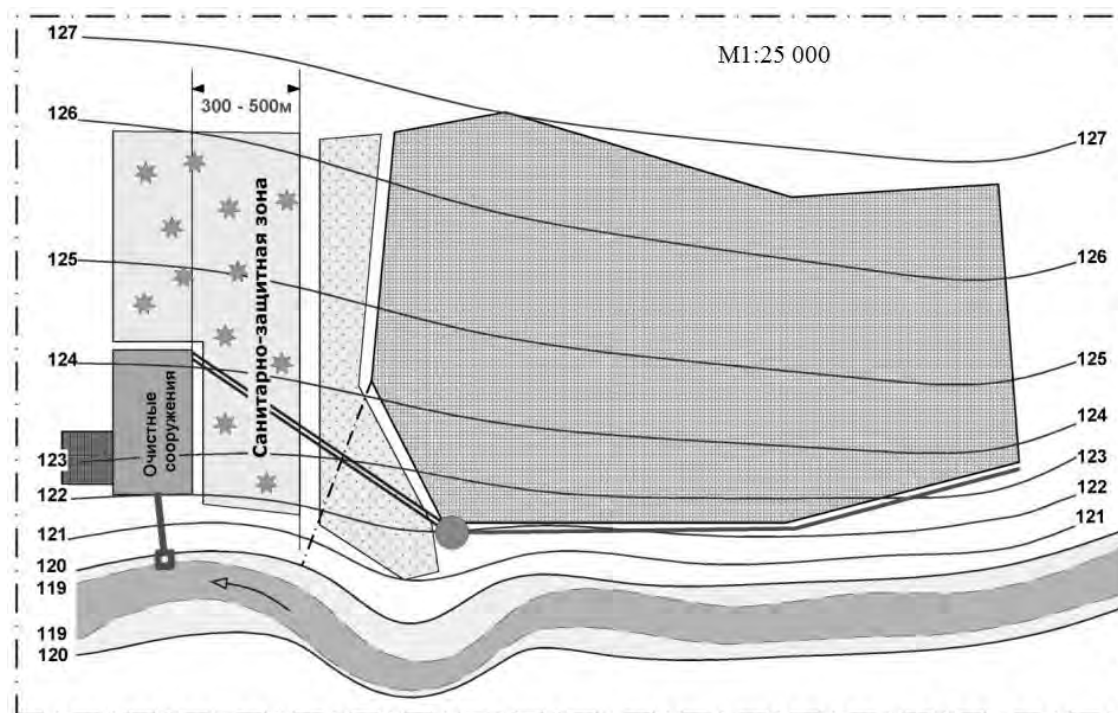


Рис. 4. Пример ситуационного плана населенного места

Мероприятия по улучшению экологической обстановки в районе очистной станции

Площадка строительства очистных сооружений выбирается за пределами жилой застройки ниже по течению реки. Условной границей населенного места принято считать перпендикуляр, опущенный от крайней застройки к линии фарватера реки. Ближнюю границу очистных сооружений устанавливают на расстоянии, зависящем от распределения ветров, но не менее 300–500 м от жилой застройки. Территория между жилой застройкой и этой границей очистных сооружений является санитарно-защитной зоной. Нижнюю границу очистных сооружений устанавливают на расстоянии от водоема, обеспечивающем незатопление площадки очистных сооружений при подъеме воды в водоеме на 1,5–2,0 м. Остальные границы уточняются после принятия компоновочных решений на генплане очистных сооружений.

Расположение основных сооружений и зданий на площадке очистных сооружений

После выполнения технологических расчетов всех сооружений приступают к составлению основного чертежа курсового проекта — генплану станции очистки сточных вод. Рекомендуется следующая последовательность разработки генплана очистных сооружений.

На выбранной площадке будущих очистных сооружений намечают положение главной оси строительства с учетом особенностей рельефа местности, очертаний водоема, ветровых и других факторов. Следуя направлению этой оси, последовательно размещают блоки основных очистных сооружений (рис. 5) и сооружений обработки осадков (рис. 6), предполагая, что возможное расширение станции будет осуществляться в направлении от населенного места.

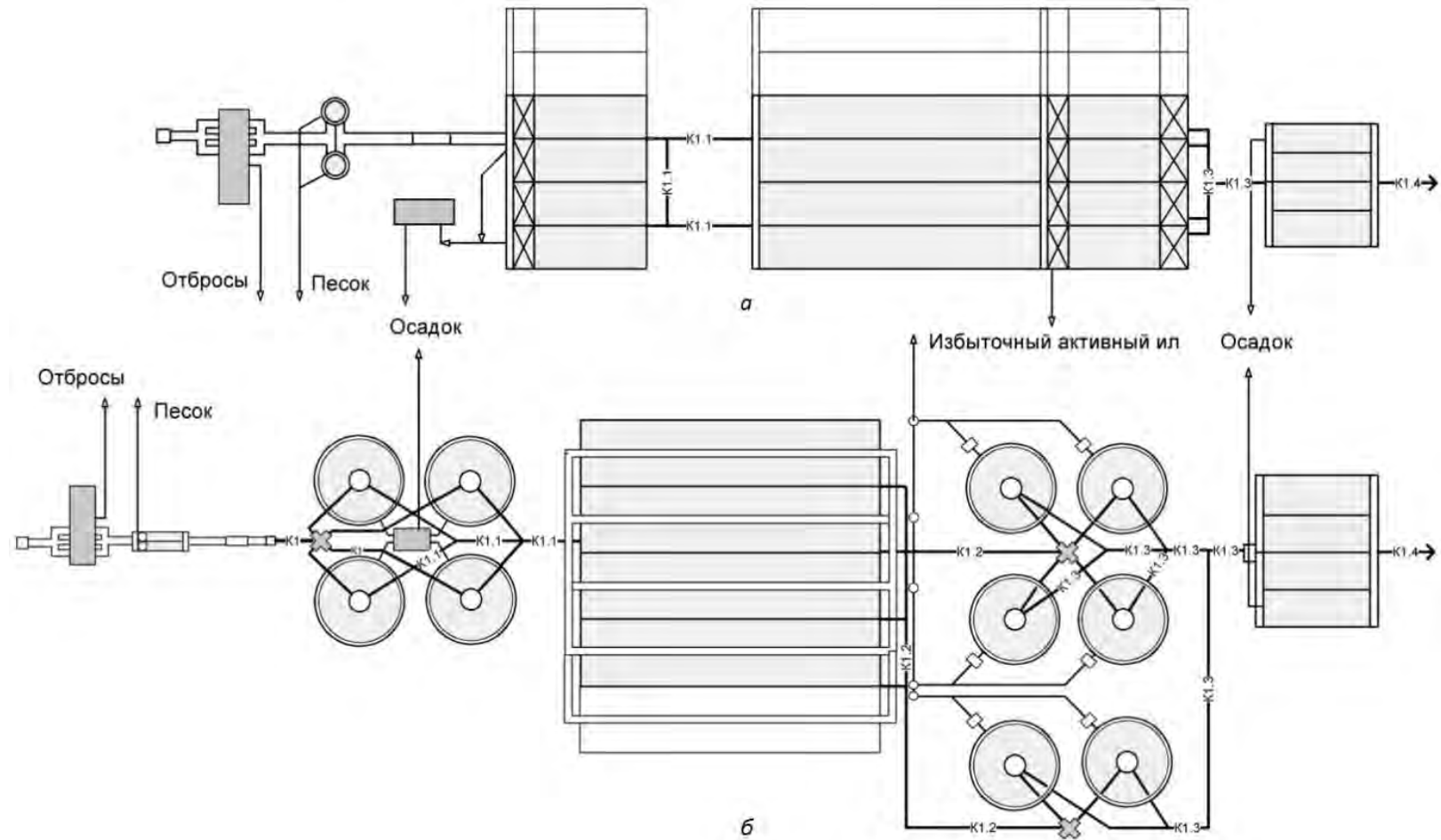


Рис. 5. Пример размещения сооружений станции очистки сточных вод с аэротенками:
a — с горизонтальными отстойниками; *б* — с радиальными отстойниками

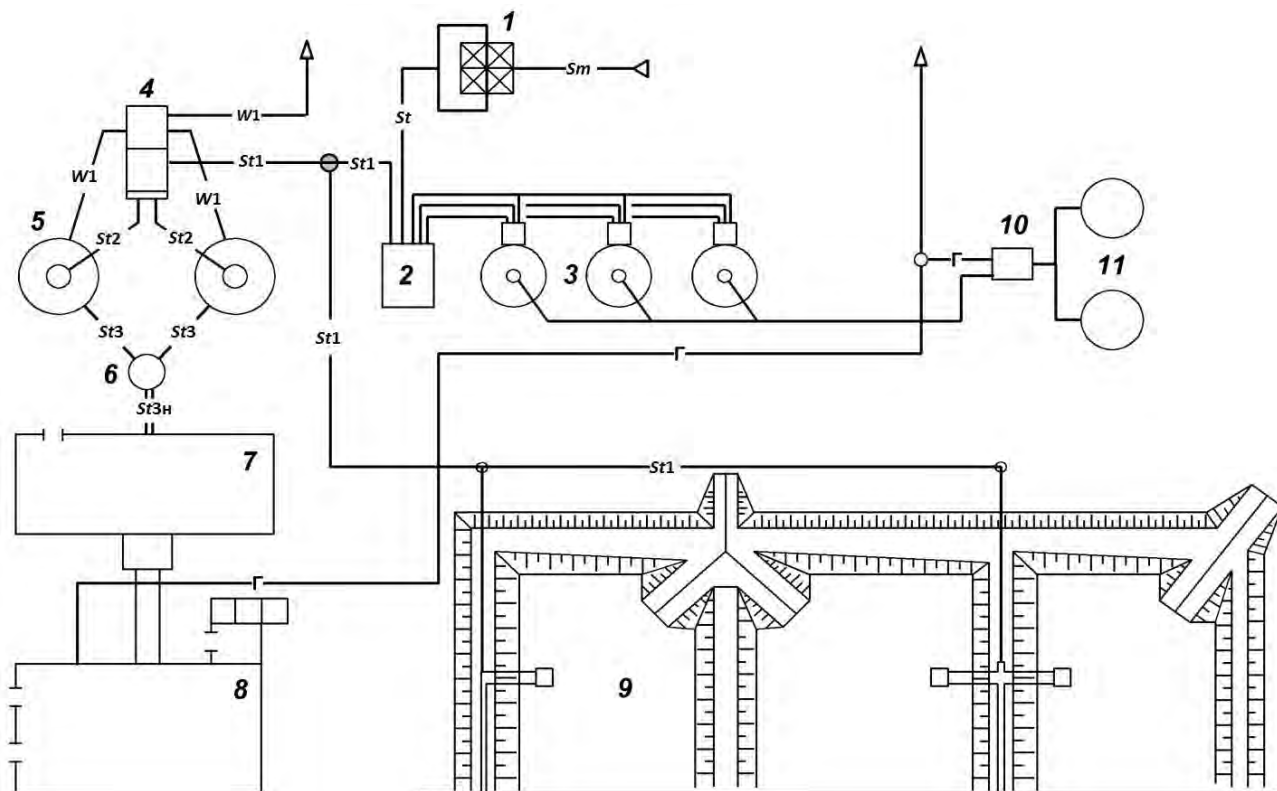


Рис. 6. Пример размещения сооружений блока обработки осадков на плане очистных сооружений:
 1 — уплотнитель смеси осадков; 2 — насосная станция метантенков; 3 — метантенки; 4 — камера промывки осадка;
 5 — уплотнители промытого осадка; 6 — насосная станция уплотненного осадка; 7 — цех механического обезвоживания;
 8 — цех термосушки; 9 — иловые площадки; 10 — газовый киоск; 11 — газгольдеры

Сооружения должны быть расположены как можно более компактно. Рекомендуется принимать ориентировочно следующие расстояния: между сооружениями в типовой компоновке — 3 м; между однотипными группами сооружений — 5 м; между разнотипными группами — от 10 до 15 м. Расстояние от основных зданий до пожаро- и взрывоопасных сооружений должно быть не менее 60 м.

После размещения на плане основных очистных сооружений на расстоянии 3–5 м от их внешних границ наносят контур верхней границы горизонтальной планировки. Далее выделяется зона вокруг очистных сооружений, в которой осуществляют устройство проездов и подъездных путей, прокладку технологических коммуникаций, а также требуемые противопожарные и санитарные разрывы. При этом необходимо учитывать ширину заложения откосов планировки.

За пределами выделенной зоны размещают производственные здания и вспомогательные сооружения, предусматривают территорию для размещения блока обработки осадков. Здания и сооружения, которые в случае необходимости расширения очистных сооружений незначительно могут увеличиться в размерах, рекомендуется располагать со стороны санитарно-защитной зоны, а резервные и временные объекты — с противоположной.

Необходимо предусмотреть максимально возможную блокировку как подсобных, так и основных объектов станции. Блокирование в одном здании различных по назначению производственных и вспомогательных помещений следует производить во всех случаях, когда это не противоречит условиям технологического процесса, санитарно-гигиеническим и противопожарным требованиям и целесообразно по условиям планировки участка и технико-экономическим соображениям. Блокировать прямоугольные емкости и сооружения следует во всех случаях, когда это целесообразно по условиям технологического процесса и конструктивным соображениям. Кроме основных сооружений и зданий необходимо разместить вспомогательные сооружения, емкости, площадки и постройки.

Прокладку технологических и инженерных коммуникаций необходимо предусматривать по наиболее коротким направлениям, компактно, преимущественно вдоль проездов. Воздуховоды и тепловые сети рекомендуется прокладывать на низких опорах с устройством переходов над или под проездами. Все технологические трубопроводы должны иметь буквенно-цифровые обозначения. Основные коммуникации движения сточных вод выделить большей толщиной линий.

Проектируемые проезды должны обеспечивать движение грузового транспорта в обоих направлениях в один ряд.

На заключительном этапе разработки генплана следует нанести контуры зеленых насаждений.

Графическая часть этого раздела должна быть представлена на Листе 1 чертежей. Содержание графической части включает разработанный генплан очистных сооружений в масштабе 1:500 или 1:1000 с указанием горизонталей не реже, чем 1 м, «розу ветров» с привязкой к ситуационному плану, условные обозначения, ведомость трубопроводов и экспликацию зданий и сооружений. При достаточности свободного места на листе может быть помещен ситуационный план.

Определение гидравлических потерь в сооружениях и коммуникациях

Основная задача этой части проекта — обеспечить самотечный режим движения сточных вод по сооружениям, а также соблюдение примерного баланса, вынуженного и уложенного в насыпи грунта.

После окончания размещения основных объектов станции очистки сточных вод необходимо нанести точки для проведения гидравлического расчета. Расчетные точки назначаются в местах изменения расхода воды и типа канала или сооружения. Маршрут расчета выбирается по наиболее длинному пути. Для выполнения этой части курсового проекта рекомендуется составить ориентированный граф гидравлических потоков очистных сооружений (рис. 7).

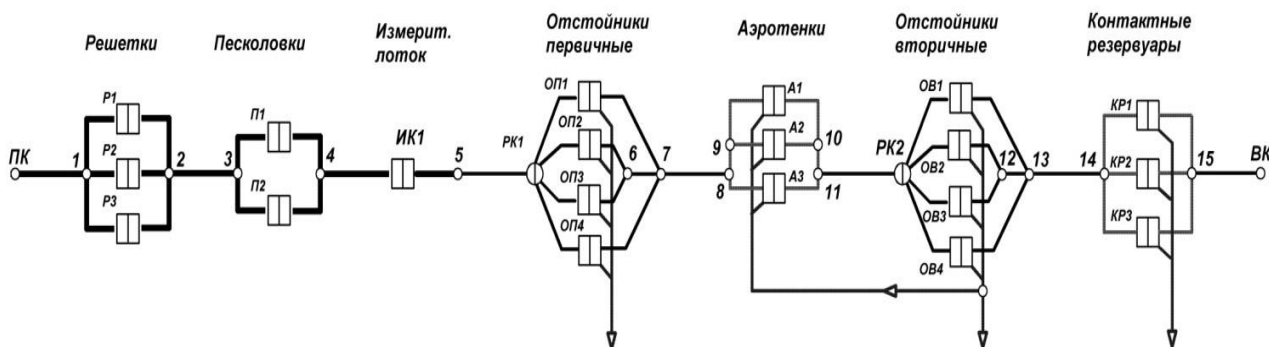


Рис. 7. Ориентированный граф гидравлических потоков очистных сооружений

Граф представляет собой формализованную схему очистных сооружений (без учета резервных). В графе указывают только внешние потоки, входящие в сооружения и выходящие из них. Расчетными считают участки между расчетными точками. Сооружение принимают как местное гидравлическое сопротивление с фиксированными потерями напора.

При формировании ориентированного графа исходящие и возвратные потоки блока обработки осадков не учитывают.

В процессе выполнения гидравлического расчета необходимо уделить внимание правильности определения расчетных расходов сточных вод на разных участках схемы. Для каналов очистных сооружений канализации и лотков сооружений следует рассчитывать по максимальному секунднему расходу сточных вод с коэффициентом 1,4, скорость движения ила в трубопроводах и распределительных лотках — принимать 1,2–1,5 м/с при уклоне 0,01.

Потери напора в лотках и трубопроводах определяются расчетом. Потери напора в отдельных сооружениях без учета подводящих коммуникаций ориентировочно можно принять по табл. 13.

Таблица 13

Значения потерь напора в сооружениях

Сооружение	Потери напора, м
Решетки	0,05–0,2
Песколовки	0,1–0,2
Преаэраторы	0,15–0,25
Распределительные камеры	0,2–0,25
Водоизмерительный лоток (Вентури)	0,2
Отстойники:	
горизонтальные	0,2–0,4
вертикальные	0,4–0,5
радиальные	0,5–0,6
осветлители	0,6–0,7
Биофильтры:	
с реактивным оросителем	1,5 + высота загрузки
со спринклерами	2,5 + высота загрузки
Аэротенки	0,25–0,5
Ершовый смеситель	0,32
Контактные резервуар	0,4–0,6
Смесители	0,1–0,3
Барабанные сетки	0,2–0,3
Зернистые фильтры	2,5–3,0

Результаты гидравлического расчета движения воды по очистным сооружениям записывают в таблицу Формы 1 — пример приведен в табл. 14.

Проектирование высотного расположения очистных сооружений

Проектирование начинают с определения высотного расположения наиболее емких сооружений, например аэротенков или блока аэротенков и вторичных отстойников. В общем случае целесообразно размещение диктующего сооружения по высоте так, чтобы половина глубины находилась на натурной отметке земли. Положение сооружений до и после него определяется в соответствии с выполненным гидравлическим расчетом.

При проектировании высотного расположения очистных сооружений необходимо принимать во внимание данные о максимальном и минимальном горизонтах воды в водоеме, а также данные о грунтах и грунтовых водах на площадке строительства.

После окончательной увязки отметок основных сооружений приступают к проектированию уровней планировки площадки очистных сооружений. При этом следует учесть, что однотипные сооружения одного блока, как правило, располагаются на одинаковой планировочной отметке.

Графическая часть этого раздела должна быть представлена на Листе 2 чертежей. Содержание графической части включает разработанный вертикальный разрез очистных сооружений в масштабах: горизонтальный — 1:500 или 1:1000; вертикальный — 1:100 и ориентированный граф гидравлических потоков очистных сооружений. Пример оформления вертикального разреза приведен на рис. 8.

Таблица 14

Гидравлический расчет движения воды по очистным сооружениям (пример Формы 1)

Участок	Длина L , м	Расход, л/с	Тип участка	Размер ($B \cdot H$)/ диаметр, мм	Абсолютное наполнение, м	Скорость, м/с	Уклон, $i \cdot 10^{-3}$	Потери напора, $\Delta H = iL$, м	Отметки по расчетным участкам, м					
									уровня воды		уровня лотка (низа)		уровня земли	
									начало	конец	начало	конец	проектная	натурная
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ПК-1	4	428,4	Лоток	500×600	0,6	1,44	4,0	0,016	112,179	112,163	111,579	111,563	111,849	110,080
1-Р1	8	214,2	Лоток	300×600	0,6	1,23	5,0	0,04	112,163	112,123	111,563	111,523	111,849	110,020
Р1	–	153,0	Решетка	–	–	1,0	–	0,1	112,123	112,023	111,523	111,423	111,849	110,020
Р1-2	8	214,2	Лоток	300×600	0,6	1,23	5,0	0,04	112,023	111,983	111,423	111,383	111,849	109,980
2-3	11	428,4	Лоток	500×600	0,6	1,44	4,0	0,044	111,983	111,939	111,383	111,339	111,849	109,900
3-П1	2	214,2	Лоток	300×600	0,6	1,23	5,0	0,01	111,939	111,929	111,339	111,329	111,849	109,890
П1	–	153,0	Песколовка	–	–	0,3	–	0,15	111,929	111,779	107,829	107,829	111,849	109,890

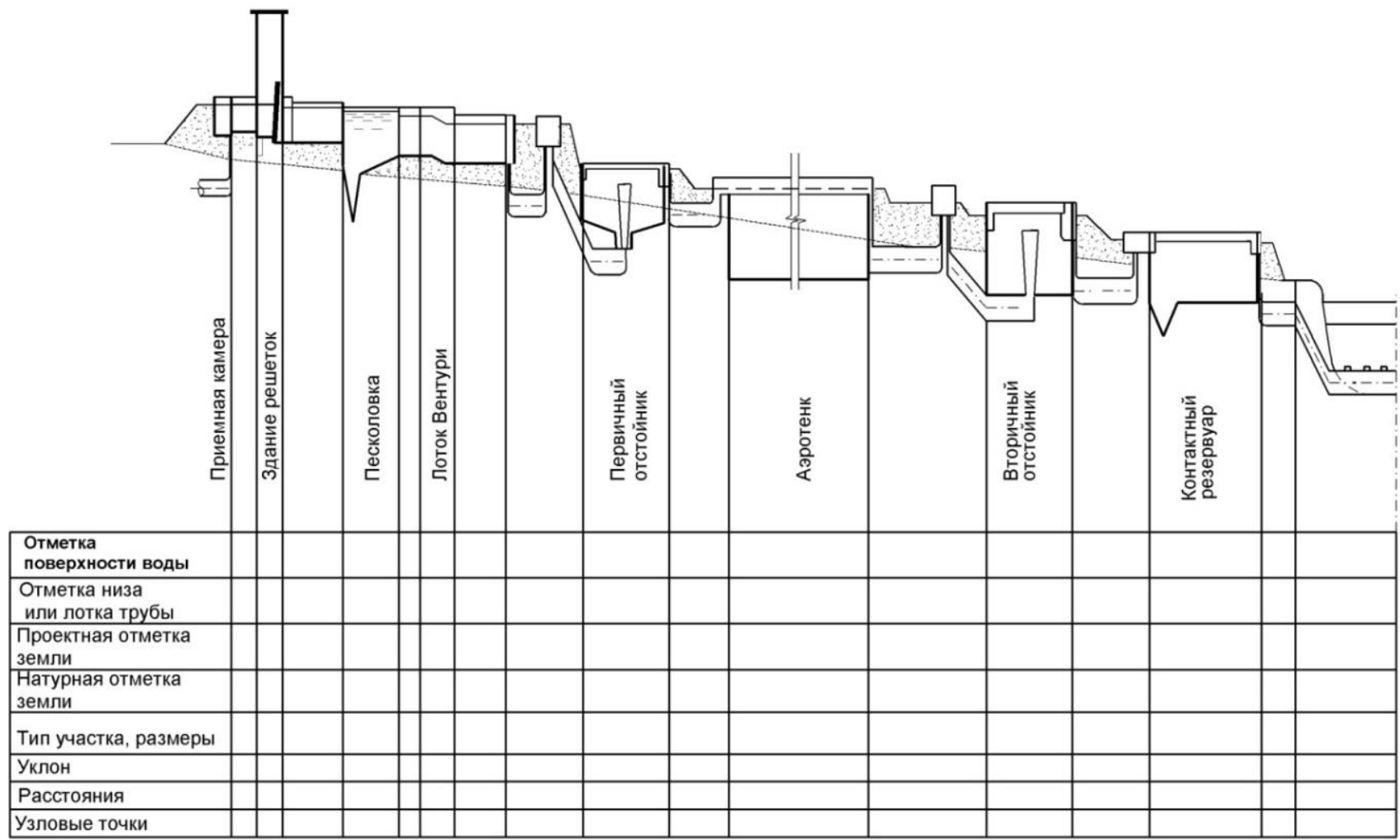


Рис. 8. Вертикальный разрез очистных сооружений с аэротенками и радиальными отстойниками

3. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ СООРУЖЕНИЙ И УПРАЖНЕНИЯ

3.1. Сооружения механической очистки

Пример расчета решеток

Расчетный расход: $q = 0,42 \text{ м}^3/\text{с}$. Глубина воды перед решеткой — $h_1 = 0,7 \text{ м}$, средняя скорость воды в прозорах между стержнями — $V_p = 1 \text{ м/с}$, ширина прозоров — $b = 0,004 \text{ м}$, количество прозоров решетки, шт., определяем по формуле

$$n = \frac{1,05 \cdot 0,42}{0,004 \cdot 0,7 \cdot 1} = 157,5 \approx 158.$$

Толщина пластин решетки — $S = 0,002 \text{ м}$.

Ширина решетки, м, находится по зависимости

$$B_p = 0,002(158 - 1) + 0,004 \cdot 158 \approx 0,95.$$

В соответствии с расчетами подбираем три ступенчатых решетки компании «РИОТЭК» РС-500, имеющих размеры $B \times H = 500 \times 800 \text{ мм}$, с числом прозоров $n = 53$, шириной канала 500 мм , толщиной пластин 2 мм .

Проверка скорости воды в прозорах решетки, м/с:

$$V_p = \frac{K_3 q}{bh_1 N n},$$

где N — число рабочих решеток;

$$V_p = \frac{1,05 \cdot 0,42}{0,004 \cdot 0,7 \cdot 3 \cdot 53} = 1.$$

Потери напора в решетках:

$$h_p = \frac{\zeta V^2 p}{2g},$$

где ζ — коэффициент местного сопротивления стержневой решетки;

$$\zeta = \beta \left(\frac{S}{b} \right)^3 \sin 45^\circ,$$

здесь β — коэффициент, зависящий от формы поперечного сечения стержня, для стержней с прямоугольным поперечным сечением $\beta = 2,42$;

$$\zeta = 2,42 \left(\frac{0,002}{0,004} \right)^3 \sin 45^\circ = 0,68;$$

V — средняя скорость в канале перед решеткой, равная 1 м/с ; p — коэффициент, учитывающий увеличение потерь напора вследствие засорения решетки, $p = 1,5$.

$$\text{Тогда } h_p = \frac{0,42 \cdot 1^2 \cdot 1,5}{2 \cdot 9,81} = 0,032 \text{ м}.$$

Количество отбросов, снимаемых с решеток, имеющих ширину прозоров $b = 0,004 \text{ м}$, равно $8 \text{ л/}(чел. \cdot \text{год})$. При норме водоотведения $n = 270 \text{ л/}(чел. \cdot \text{сут})$ приведенное число жителей города, чел., составит

$$N_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{ср}}^{\text{сут}}}{n} = \frac{23 \cdot 200 \cdot 1000}{270} = 85 \, 925.$$

Объем улавливаемых отбросов, $\text{м}^3/\text{сут}$, равно

$$V_{\text{сут}} = \frac{8 N_{\text{пр}}}{365 \cdot 1000} = \frac{8 \cdot 85 \, 925}{365 \cdot 1000} = 1,88.$$

При плотности отбросов 750 кг/м^3 масса загрязнений, т/сут, составляет

$$M = 1,88 \cdot 0,75 = 1,41.$$

Для измельчения задерживаемых загрязнений применяем две дробилки (рабочая и резервная) типа Д-3а со следующими характеристиками: производительность — 600 кг/ч; мощность электродвигателя — 22 кВт.

Продолжительность работы дробилки, ч/сут:

$$T = \frac{1,41 \cdot 1000}{270} = 2,35.$$

После дробилок загрязнения направляются в бункер, а затем на депонирование.

Пример расчета горизонтальных песколовков

Расчетный расход: $q_c^{\max} = 0,655 \text{ м}^3/\text{с}$, $Q_{\text{ч}}^{\max} = 2372 \text{ м}^3/\text{ч}$. К расчету принимаем горизонтальную песколовку с круговым движением воды. Число отделений не менее двух, причем все рабочие. Принимаем два отделения песколовки.

Площадь живого сечения каждого отделения, м:

$$F = q_{\max} / (Vn) = 0,655 / (0,3 \cdot 2) = 1,09,$$

где V — средняя скорость движения воды в песколовке, $V = 0,3 \text{ м/с}$; n — количество отделений, $n = 2$.

Принимаем расчетную глубину песколовки $H = 0,8 \text{ м}$, тогда ширина одного отделения, м, равна

$$B = F / H = 1,09 / 0,8 \approx 1,4.$$

Полученная ширина одного отделения округляется до ближайшего целого значения. Принимаем $B = 2 \text{ м}$.

Тогда наполнение в песколовке при максимальном расходе, м:

$$h_1 = F / B = 1,4 / 2 = 0,7.$$

Коэффициент, учитывающий влияние турбулентного потока, — $k = 1,7$.

Длина песколовки, м:

$$L = kh_1V / u_0 = 1,7 \cdot 0,7 \cdot 0,3 / 0,0187 = 19.$$

По рассчитанной длине и ширине принимается типовая песколовка с размерами отделения: $B = 2 \text{ м}$ — ширина; $L = 18 \text{ м}$ — длина; $H = 0,8 \text{ м}$ — глубина; $n = 2$ — количество отделений.

После подбора песколовки определяется скорость течения в ней при максимальном и минимальном притоках, м/с, по формулам:

$$V_{\max} = q_{\max} / (BnH) = 0,655 / (2 \cdot 2 \cdot 0,8) = 0,21.$$

Для горизонтальных песколовков скорость движения воды должна находиться в пределах 0,15–0,3 м/с. Данное условие выполняется. Общая площадь рабочих песколовков в плане, м^2 :

$$F = nBL = 2 \cdot 2 \cdot 19 = 76.$$

Продолжительность протекания сточных вод в песколовке при максимальном притоке (не менее 30 с), с:

$$T = L / V_{\max} = 19 / 0,21 = 90.$$

Пример расчета горизонтальных песколовков с круговым движением воды

Расчет проводится так же, как и для горизонтальных песколовков, добавляется лишь расчетная формула для диаметра песколовков:

$$D = \frac{L}{\pi} = \frac{19}{3,14} = 6.$$

Пример расчета тангенциальных песколовков

Максимальный часовой расход: $q_{\text{ч}}^{\max} = 431,1 \text{ м}^3/\text{ч}$; Максимальный секундный расход: $q_c^{\max} = 119,7 \text{ л/с}$.

Для тангенциальных песколовков допускается нагрузка $q_0 = 110–130 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, тогда площадь зеркала воды, м^2 , составит

$$F = 431,1 / (2 \cdot 110) = 1,96.$$

Тогда диаметр песколовки равен, м:

$$D = \sqrt{4F / \pi} = \sqrt{4 \cdot 1,96 / 3,14} = 1,6.$$

Определим высоту цилиндрической части, м:

$$h_{\text{ц}} = D / 2 = 1,6 / 2 = 0,8.$$

Вычислим высоту конической части, м:

$$h_{\text{к}} = \frac{D-d}{2} \operatorname{tg} \varphi = \frac{1,6-0,4}{2} \operatorname{tg} 50^\circ = 0,6 \cdot 1,19 = 0,7,$$

где D — диаметр песколовки, м; d — диаметр днища конической части, м.

Найдем общую высоту сооружения, м:

$$H = h_{\text{ц}} + h_{\text{к}} + h_{\text{б}} = 0,8 + 0,7 + 0,5 = 2,$$

где $h_{\text{б}}$ — высота борта песколовки, принятая 0,5 м.

Устанавливаем две новые тангенциальные песколовки диаметром 1,6 м и высотой рабочей части 2 м.

Пример расчета радиальных отстойников

Содержание взвешенных веществ в воде $C = 282,5$ мг/л.

Средний секундный расход на очистную станцию составит: $q_{\text{ср}} = 0,8$ м³/с, соответственно, $q_{\text{max}} = 1,1856$ м³/с = 4268,16 м³/ч.

Определение необходимой степени очистки по взвешенным веществам:

$$\Xi = (C - 150) 100 / C = (282,5 - 150) 100 / 282,5 = 47 \%,$$

где Ξ — необходимый эффект осветления сточных вод, %; C — содержание взвешенных веществ до очистки, мг/л.

Определение гидравлической крупности в реальном сооружении с учетом седиментационного подобия, мм/с:

$$U_0 = (1000 H_{\text{сет}}) / (t_{\text{сет}} (H_{\text{сет}} / h_{\text{сет}})^n),$$

где $H_{\text{сет}}$ — глубина проточной части в отстойнике, м; $t_{\text{сет}}$ — продолжительность отстаивания, с; n — показатель степени, зависящий от агломерации взвеси в процессе осаждения; $h_{\text{сет}}$ — глубина при отстаивании в покое, м;

$$U_0 = (1000 \cdot 3,4) / (1676,7 (3,4 / 0,5)^{0,25}) = 1,26.$$

Коэффициент вязкости

$$\mu' = \frac{1 + 0,0337 t_{\text{пр}} + 0,00021 t_{\text{пр}}^2}{1 + 0,0337 t_{\text{лаб}} + 0,00021 t_{\text{лаб}}^2},$$

где $t_{\text{пр}}$ — минимальная среднемесячная температура сточной воды, $t_{\text{пр}} = 15$ °С; $t_{\text{лаб}}$ — температура в лабораторных условиях, $t_{\text{лаб}} = 20$ °С;

$$\mu' = \frac{1 + 0,0337 \cdot 15}{1 + 0,0337 \cdot 20} = 0,9.$$

Определение гидравлической крупности с учетом вязкости жидкости, мм/с:

$$U_0 t = U_0 \mu = 1,26 \cdot 0,9 = 1,13.$$

Определение требуемого времени осветления в реальном отстойнике, с:

$$T_{\text{осв}} = 1000 H_{\text{сет}} / (K_{\text{сет}} U_0),$$

где $K_{\text{сет}}$ — коэффициент использования объема отстойника, $K_{\text{сет}} = 0,45$ для радиальных отстойников;

$$T_{\text{осв}} = 1000 \cdot 3,4 / (0,45 \cdot 1,13) = 6686.$$

Расчетный объем первичных отстойников, м³:

$$W_{\text{расч}} = T_{\text{осв}} Q_{\text{ч}}^{\text{max}} / 3600 = 6686 \cdot 4268,16 / 3600 = 7927.$$

Принимаем четыре первичных радиальных отстойника диаметром 30 м, гидравлической глубиной 3,4 м и расчетным объемом 2190 м³.

Обратный перерасчет фактического времени пребывания в отстойниках T_{ϕ} , с:

$$T_{\phi} = W_{\text{тип}} / q_{\text{max}} = 8760 / 1,1856 = 7389,$$

где $W_{\text{тип}}$ — общий объем всех отстойников, м³.

Фактическая гидравлическая крупность составит, мм/с:

$$U_{\phi} = (1000H_{\phi} / (T_{\phi}k_{\text{сет}})) - \omega = (1000 \cdot 3,4 / (7389 \cdot 0,45)) - 0,05 = 1,02,$$

где H_{ϕ} — высота типового отстойника, $H_{\phi} = 3,4$ м; ω — турбулентная составляющая.

$$t_{\text{факт}} = 1000 \frac{H_{\text{факт}}}{u_{\text{факт}} \left(\frac{H_{\text{факт}}}{h_1} \right)^n} \mu = 1000 \frac{3,4}{1,02 \left(\frac{3,4}{0,5} \right)^{0,25}} 0,88 = 1822 \text{ с},$$

$\mathcal{E}_{\text{факт}} = 50 \%$, что больше требуемых 47 %, $C_{\text{вых}} = 282,5 - 0,5 \cdot 282,5 = 141,25$ мг/л.

Пример расчета горизонтального отстойника

Расчетный расход равен 1160 м³/ч, или 322 л/с. При поступлении сточных вод с концентрацией взвешенных веществ $C_{\text{см}}^{\text{в.в.}} = 221$ мг/л необходимо снизить ее в первичных отстойниках до 100–150 мг/л.

Принимаем и рассчитываем первичные горизонтальные отстойники.

1. Минимальный процент очистки от взвешенных веществ составит

$$\mathcal{E}_{\text{min}} = \frac{C_{\text{вх}}^{\text{в.в.}} - C_{\text{вых}}}{C_{\text{вх}}^{\text{в.в.}}} 100 \% = \frac{221 - 150}{221} 100 \% = 32,1 \%$$

2. Максимальный эффект, который следует обеспечить в отстойниках, составляет

$$\mathcal{E}_{\text{max}} = \frac{221 - 100}{221} 100 \% = 54,8 \%$$

Из практики работы первичных отстойников известно, что они способны устойчиво обеспечить эффект очистки около 50 %. Этот эффект нас устраивает, так как находится между \mathcal{E}_{min} и \mathcal{E}_{max} , его и закладываем в расчет.

Определяем гидравлическую крупность U_0 , мм/с, выделяемых взвешенных веществ:

$$U_0 = \frac{1000H_{\text{сет}}}{t_{\text{сет}} \left(\frac{H_{\text{сет}}}{h_1} \right)^{0,28}},$$

где $H_{\text{сет}}$ — глубина проточной части сооружения; $t_{\text{сет}}$ — продолжительность отстаивания; h_1 — опытная глубина воды в цилиндре; n — показатель степени;

$$U_0 = \frac{1000 \cdot 3,1}{1300 \left(\frac{3,1}{0,5} \right)^{0,28}} = 1,48.$$

Необходимая продолжительность осветления воды в отстойнике, ч:

$$t_{\text{отс}} = \frac{1000H_{\text{сет}}}{k_{\text{сет}}U_0 \cdot 3600} = \frac{1000 \cdot 3,1}{0,5 \cdot 1,48 \cdot 3600} = 1,15,$$

где $k_{\text{сет}}$ — коэффициент использования объема проточной части отстойника для горизонтального отстойника, равный 0,5.

Расчетный объем первичных отстойников, м³:

$$W_{\text{расч}} = q_{\text{max}} t_{\text{отс}} = 1160 \cdot 1,15 = 1334.$$

Принимаем секцию отстойника из N отделений, равных 4, ширину отделения $B = 6$ м, глубину зоны отстаивания $H_{\text{отс}} = 3,1$ м.

Расход воды, м³/ч, на одно отделение составит

$$q_{\text{факт}} = \frac{q_{\text{max}}}{N} = \frac{1160}{4} = 290.$$

Определяем среднюю скорость потока в отстойнике, м/с:

$$v_{\text{cp}} = \frac{q_{\text{факт}} \cdot 1000}{BH_{\text{сет}} \cdot 3600} = \frac{290 \cdot 1000}{6 \cdot 3,1 \cdot 3600} = 4,33.$$

Так как $v_{\text{cp}} = 4,4$ мм/с, то поправку составляющей ω на турбулентность потока не вводим. Длина горизонтального отстойника, м, равна

$$L = \frac{vH_{\text{сет}}}{k_{\text{сет}}(U_0 - \omega)} = \frac{4,33 \cdot 3,1}{0,5(1,48 - 0)} = 18.$$

Фактический объем отстойника $W_{\text{факт}} = 1340$ м³. Тогда фактическая продолжительность отстаивания воды в первичном отстойнике, ч:

$$t_{\text{факт}} = \frac{W_{\text{факт}}}{q_{\text{max}}} = \frac{1340}{1160} = 1,16.$$

Фактическая гидравлическая крупность взвешенных веществ, задерживаемых в отстойнике, мм/с:

$$U_0^{\text{факт}} = \frac{1000H_{\text{отс}}}{k_{\text{сет}}t_{\text{факт}} \cdot 3600} + \omega = \frac{1000 \cdot 3,1}{0,5 \cdot 1,16 \cdot 3600} + 0 = 1,49.$$

Действительное значение $t_{\text{сет}}$, с, соответствующее этой гидравлической крупности:

$$t_{\text{сет}} = \frac{1000H_{\text{сет}}}{U_0^{\text{факт}} \left(\frac{H_{\text{сет}}}{h} \right)^n} = \frac{1000 \cdot 3,1}{1,49 \left(\frac{3,1}{0,5} \right)^{0,28}} = 1250.$$

Эффект осветления в отстойнике — $\mathcal{E}_{\text{ф}} = 37$ %.

Определим концентрацию взвешенных веществ после первичного отстойника, мг/л:

$$C_{\text{ex}} = C_{\text{en}} \left(1 - \frac{\mathcal{E}}{100} \right) = 221 \left(1 - \frac{37}{100} \right) = 140.$$

Эффективность снижения БПК_{полн} в первичных отстойниках составляет

$$\mathcal{E}^{\text{БПК}} = 0,6\mathcal{E}_{\text{ф}} = 0,6 \cdot 37 = 22 \text{ \%}.$$

Определим концентрацию БПК_{полн} в воде, мг/л, выходящей из отстойника:

$$L_{\text{ex}} = L_{\text{en}} \left(1 - \frac{\mathcal{E}^{\text{БПК}}}{100} \right) = 288 \left(1 - \frac{22}{100} \right) = 225.$$

3.2. Сооружения биологической очистки

Расчет аэротенка

Суточный расход сточных вод составляет 86 000 м³/сут, БПК поступающих вод равно 233,3 мг/л.

Определяем БПК сточных вод, мг/л, выходящих из отстойника. Она снижается на 20–25 % по сравнению БПК воды, поступающей на отстаивание:

$$L_{\text{en}} = L(1 - 0,2) = 233,3 \cdot 0,8 = 186,64.$$

Принимаем степень рециркуляции активного ила R_i равной 0,49.

Рассчитываем БПК в начале аэротенка с учетом разбавления рециркуляционным расходом, мг/л:

$$L_{\text{mix}} = \frac{L_{\text{en}} + L_{\text{ex}}R_i}{1 + R_i} = \frac{186,64 + 15 \cdot 0,49}{1 + 0,49} = 130,2,$$

где L_{ex} — БПК_{полн} очищенной воды, равная 15 мг/л.

Принимаем дозу ила в аэротенке: $a_i = 3$ г/л.

Определяем дозу ила в регенераторе, г/л:

$$a_r = a_i \left(\frac{1}{2R_i} + 1 \right) = 3 \left(\frac{1}{2 \cdot 0,49} + 1 \right) = 6,06.$$

Вычислим удельную скорость окисления органических загрязнений, мг/(г·ч):

$$\rho = \rho_{\max} \frac{L_{ex} C_0}{L_{ex} C_0 + k_e C_0 + k_0 L_{ex}} \cdot \frac{1}{1 + \phi a_r},$$

где ρ_{\max} — максимальная скорость окисления, мг/(г·ч); C_0 — концентрация растворенного кислорода, мг/л (принимаем равной 2); k_e — константа, характеризующая свойства органических загрязняющих веществ; k_0 — константа, характеризующая влияние кислорода; ϕ — коэффициент ингибирования продуктами распада активного ила, л/г;

$$\rho = 85 \frac{15 \cdot 2}{15 \cdot 2 + 33 \cdot 2 + 0,625 \cdot 15} \cdot \frac{1}{1 + 0,07 \cdot 6,06} = 17.$$

Продолжительность окисления органических загрязнений определяется как

$$t_0 = \frac{L_{en} - L_{ex}}{R_i a_r (1 - S) \rho} = \frac{186,64 - 15}{0,49 \cdot 6,06 (1 - 0,3) 17} = 4,86,$$

где S — зольность ила, равная 0,3.

Продолжительность обработки воды в аэротенке, ч:

$$t_{at} = \frac{2,5}{\sqrt{a_i}} \lg \frac{L_{mix}}{L_{ex}} = \frac{2,5}{\sqrt{2,42}} \lg \frac{130,2}{15} = 1,36.$$

Вычислим продолжительность регенерации, ч:

$$t_r = t_0 - t_{at} = 4,86 - 1,36 = 3,5.$$

Определим продолжительность пребывания воды в системе аэротенк – регенератор, ч:

$$t = (1 - R_i) t_{at} + R_i t_r = (1 + 0,49) 1,36 + 0,49 \cdot 3,5 = 3,8,$$

что больше минимального времени обработки (2 ч).

Объемы аэротенка W_{at} и регенератора W_r составляют, м³:

$$W_{at} = t_{at} (1 + R_i) q_w = 1,36 (1 + 0,49) 5256 = 10\ 651;$$

$$W_r = t_r R_i q_w = 3,5 \cdot 0,49 \cdot 5256 = 9014.$$

Суммарный объем аэротенка, м³:

$$W = W_{at} + W_r = 10\ 651 + 9014 = 19\ 665.$$

Процент регенератора составляет

$$P = \frac{9014}{19665} 100\ \% = 46.$$

Определим среднюю дозу ила, г/л:

$$a_{cp} = \frac{\left(1 - \frac{P}{100}\right) W a_i + \frac{P}{100} W a_r}{W} = \frac{0,54 \cdot 19\ 665 \cdot 3 + 0,46 \cdot 6,06 \cdot 19\ 665}{19\ 665} = 4,4.$$

Фактическое время пребывания обрабатываемой сточной воды в системе аэротенк – регенератор, ч:

$$t_a = \frac{W}{q_w} = \frac{19\ 665}{5256} = 3,7.$$

Нагрузка на ил по ПБК составит, мг/(г·сут):

$$q_i = \frac{24(L_{en} - L_{ex})}{a_{cp} (1 - S) t_a} = \frac{24 \cdot 171,64}{3,7 (1 - 0,3) 4,4} = 361.$$

Иловый индекс, который соответствует данной нагрузке, равен $J_i = 120$ см³/г.

Степень рециркуляции, соответствующая этому иловому индексу:

$$R_i = \frac{a_i}{\frac{1000}{J_i} - a_i} = \frac{3}{\frac{1000}{120} - 3} = 0,56.$$

Подбираем пять секций двухкоридорного аэротенка-вытеснителя с шириной каждого коридора 6 м, длиной 60 м, рабочей глубиной 5 м и объемом каждой секции 3933 м³. Общий объем аэротенков — 19 665 м³.

Расчет количества воздуха

Принимаем в аэротенке двухполосную аэрацию через фильтросные пластины. Ширина одного фильтроса — 0,3 м, величина просвета между аэраторами, включаемая в площадь аэрируемой зоны, — 0,3 м. Ширина площади аэрации составит, м:

$$b_{\phi} = 2 \cdot 0,3 + 0,3 = 0,9.$$

Соотношение площади аэраторов к площади аэротенка определяется по формуле

$$\frac{f_{ar}}{f_{at}} = \frac{0,9}{9} = 0,1.$$

Аэраторы устанавливаются в железобетонных лотках, укладываемых на дно аэротенка. Высота этого лотка — 0,35 м. Тогда глубина погружения аэратора составит, м:

$$h_a = h_{at} - 0,35 = 5 - 0,35 = 4,65.$$

Вычисляем растворимость кислорода в воде, мг/л:

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

где C_T — растворимость кислорода в воде в зависимости от температуры и атмосферного давления, $C_T = 8,84$ мг/л;

$$C_a = \left(1 + \frac{4,65}{20,6}\right) 8,84 = 10,8.$$

Определяем удельный расход воздуха, м³/м³:

$$q_{air} = \frac{1,1(186,64 - 15)}{1,47 \cdot 2 \cdot 1,02 \cdot 0,85(10,8 - 2)} = 8,4.$$

Пример расчета биофильтров

Пример 1. Рассчитать капельный биофильтр.

Исходные данные: суточный расход сточных вод $Q_w = 780$ м³/сут; БПК_{полн} поступающей сточной воды $L_{en} = 185$ мг/л; БПК_{полн} очищенной сточной воды $L_{ex} = 15$ мг/л; среднезимняя температура $T_w = 13$ °С; количество БПК_{полн} в сточной воде на одного жителя в сутки $a = 40$ г/(чел. · сут).

Так как значение БПК_{полн} поступающей сточной воды меньше допустимого значения (220 мг/л), принимаем капельные биофильтры без рециркуляции. Рассчитываем коэффициент K_{bf} :

$$K_{bf} = L_{en} / L_{ex} = 185 / 15 = 12,3.$$

В соответствии со среднезимней температурой T_w и рассчитанным значением K_{bf} подбираем высоту загрузки биофильтра $H_{bf} = 2$ м и гидравлическую нагрузку $q_{bf} = 1,5$ м³/(м² · сут). Далее определяем общую площадь биофильтров, м²:

$$F_{bf} = \frac{Q_w}{q_{bf}} = \frac{780}{1,5} = 520.$$

Принимаем биофильтры круглой формы в плане диаметром $D = 12$ м с количеством секций $n_{bf} = 5$ и площадью одной секции $F_1 = 113$ м². Рассчитаем объем загрузки, м³:

$$V_{bf} = n_{bf} F_1 H_{bf} = 5 \cdot 113 \cdot 2 = 1130.$$

Вычислим объем избыточной биопленки, м³/сут:

$$V_{mud} = \frac{100q_{mud}Q_wL_{en}}{10^6(100 - P_{mud})\alpha} = \frac{100 \cdot 8 \cdot 780 \cdot 185}{10^6(100 - 96)40} = 0,72.$$

Пример 2. Рассчитать капельный биофильтр.

БПК_{полн} поступающей сточной воды $L_{en} = 255$ мг/л, остальные данные взять из примера 1.

Так как значение БПК_{полн} поступающей сточной воды больше допустимого значения (220 мг/л), принимаем капельные биофильтры с рециркуляцией сточной воды. Рассчитываем коэффициент K_{bf} :

$$K_{bf} = L_{en} / L_{ex} = 220 / 15 = 14,7.$$

В соответствии со среднезимней температурой T_w и рассчитанным значением K_{bf} подбираем высоту загрузки биофильтра $H_{bf} = 2$ м и гидравлическую нагрузку $q_{bf} = 1$ м³/(м²·сут):

$$K_{bf}^{min} = \frac{(13,8 + 15,1)}{2} = 14,45.$$

Вычислим среднее значение БПК_{полн} в смеси стоков перед биофильтром, мг/л:

$$L_{mix} = L_{ex} K_{bf}^{min} = 15 \cdot 14,45 = 217.$$

Определим коэффициент рециркуляции:

$$K_{rec} = \frac{L_{en} - L_{mix}}{L_{mix} - L_{ex}} = \frac{255 - 217}{217 - 15} = 0,19.$$

Далее находим общую площадь биофильтра, м²:

$$F_{bf} = \frac{Q_w(K_{rec} + 1)}{q_{bf}} = \frac{780(0,19 + 1)}{1} = 928.$$

Принимаем биофильтры прямоугольной формы в плане с размером сторон 12×18 м, количеством секций $n_{bf} = 5$ и площадью одной секции 216 м². Рассчитаем объем загрузки, м³:

$$V_{bf} = n_{bf} F_1 H_{bf} = 5 \cdot 216 \cdot 2 = 2160.$$

Вычислим объем избыточной биопленки, м³/сут:

$$V_{mud} = \frac{100q_{mud}Q_wL_{en}}{10^6(100 - P_{mud})\alpha} = \frac{100 \cdot 8 \cdot 780 \cdot 255}{10^6(100 - 96)40} = 1.$$

Пример расчета вторичных отстойников

Из-за значительного расхода сточных вод вторичные отстойники проектируем радиального типа. Расчет ведется по гидравлической нагрузке, м³/(м²·ч), определяемой по формуле

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

где K_{ss} — коэффициент отстаивания объема зоны отстаивания, для радиальных отстойников $K_{ss} = 0,4$; значение a_i следует принимать не менее 10 мг/л; значения J_i и a_i берем из расчета аэротенка ($J_i = 120$ см³/г, $a_i = 3$ г/л):

$$q_{ssa} = \frac{4,5 \cdot 0,4 \cdot 3 \cdot 4^{0,8}}{(0,1 \cdot 120 \cdot 3)^{0,5-0,01 \cdot 15}} = 1,364.$$

Площадь всех отстойников, м²:

$$F = \frac{Q_q^{max}}{q_{ssa}} = \frac{5256}{1,36} = 3865.$$

Определим площадь поверхности отстойника, м², при диаметре $D_{set} = 30$ м:

$$F_{set} = \frac{\pi D_{set}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 30^2}{4} = 706.$$

Найдем количество отстойников:

$$n = \frac{F}{F_{set}} = \frac{3865}{706} = 5,47 \approx 6.$$

Принимаем шесть типовых отстойников с диаметром $D = 30$ м.

3.3. Сооружения обеззараживания

Дезинфекция производится хлором. Расчетная доза хлора $D_{Cl} = 3 \text{ г/м}^3$.

Количество хлора, расходуемое в течение одного часа при максимальном расходе сточных вод, кг/ч:

$$Q_{Cl} = q_{\max} D_{Cl} / 1000 = 5256 \cdot 3 / 1000 = 15,8.$$

Для получения хлорной воды хлораторная обеспечивается подводом воды питьевого качества с давлением не менее 0,4 МПа и следующим расходом, $\text{м}^3/\text{ч}$:

$$Q = Q_{Cl} q = 15,8 \cdot 0,4 = 6,32,$$

где $q = 0,4 \text{ м}^3$ — количество воды, расходуемое на 1 кг хлора.

Для обеспечения контакта хлора со сточной водой проектируются контактные резервуары по типу горизонтальных отстойников, вместимость которых равна, м^3 :

$$W_{\text{к.р}} = q_{\max} t / 60 = 5256 \cdot 30 / 60 = 2628,$$

где t — продолжительность контакта хлора со сточной водой, равная 30 мин.

Площадь поперечного сечения резервуара, м^2 :

$$F = W_{\text{к.р}} / L_p = 2628 / 33 = 79,$$

где L_p — длина резервуара, м.

Принимается типовой контактный резервуар шириной $B = 6$ м и глубиной $h = 3,2$ м.

Поперечное сечение одного резервуара составляет $F_p = 3,2 \cdot 6 = 19,2 \text{ м}^2$.

Количество устанавливаемых на станции секций для контактных резервуаров:

$$N = F / F_p = 79 / 19,2 = 4.$$

Фактическая продолжительность контакта воды с хлором в течение часа при максимальном притоке воды, ч:

$$T = nBhL_p / q_{\max} = 4 \cdot 6 \cdot 3,2 \cdot 33 / 5256 = 0,48,$$

что равняется 29 мин.

3.4. Сооружения блока обработки осадков

Расчет метантенков

Осадок первичных отстойников

Количество сырого осадка по сухому веществу, т/сут:

$$O_s = \frac{C_{en} E_s Q_w}{10^6},$$

где C_{en} — концентрация взвешенных веществ в воде, поступающих на первичные отстойники; E_s — эффективность задержания взвешенных веществ в первичных отстойниках, доли единицы; Q_w — среднесуточный расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{сут}$;

$$O_s = \frac{271,16 \cdot 0,45 \cdot 26\,309,2}{10^6} = 3,21.$$

Количество осадка по абсолютно сухому веществу, т/сут:

$$O'_s = O_s \frac{100 - H_p}{100} = 3,21 \frac{100 - 5}{100} = 3,05,$$

где H_p — гигроскопическая влажность сухих осадков, %.

Количество осадка по беззольному веществу, т/сут:

$$O_z = O'_s \frac{100 - z_s}{100} = 3,05 \frac{100 - 30}{100} = 2,14,$$

где z_s — зольность осадка, %.

Избыточный активный ил

Прирост активного ила, мг/л:

$$\Pi = 0,8B_b + 0,3L_a,$$

где B_b — количество взвешенных веществ, поступающих в аэротенк; L_a — БПК сточной воды, поступающей в аэротенк;

$$\Pi = 0,8 \cdot 149,14 + 0,3 \cdot 278,13 = 202,75.$$

Количество активного ила по сухому веществу, т:

$$A_s = \frac{\Pi - a_t}{10^6} Q_w = \frac{202,75 - 13,54}{10^6} 26\,309,2 = 4,98,$$

где a_t — вынос взвешенных веществ из вторичных отстойников, мг/л.

Количество ила по абсолютно сухому веществу, т/сут:

$$A'_s = A_s \frac{100 - H_p}{100} = 4,98 \frac{100 - 5}{100} = 4,73.$$

Количество ила по беззольному веществу, т/сут:

$$A_z = A'_s \frac{100 - z_{ai}}{100} = 4,73 \frac{100 - 30}{100} = 3,31,$$

где z_{ai} — зольность активного ила, %.

Общая масса твердой фазы

Масса сухого вещества, т/сут:

$$M = O_s + A_s = 3,21 + 4,98 = 8,19.$$

Масса абсолютно сухого вещества, т/сут:

$$M' = O'_s + A'_s = 3,05 + 4,73 = 7,78.$$

Масса беззольного вещества, т/сут:

$$M_z = O_z + A_z = 2,14 + 3,31 = 5,45.$$

Масса золы в осадках, т/сут:

$$M_{zol} = M' - M_z = 7,78 - 5,45 = 2,33.$$

Общее количество осадка по объему

Расход сырого осадка, м³/сут:

$$Q_s = \frac{100O_s}{(100 - P_{ws})\gamma_s} = \frac{100 \cdot 3,21}{(100 - 95,0)1,06} = 60,57,$$

где P_{ws} — влажность осадка, %; γ_s — плотность осадка, кг/м³.

Расход избыточного активного ила, м³/сут:

$$Q_a = \frac{100A_s}{(100 - P_{wa})\gamma_a} = \frac{100 \cdot 4,98}{(100 - 97,3)1,02} = 180,83,$$

где P_{wa} — влажность ила, %; γ_a — плотность ила, кг/м³.

Общее количество смеси осадков на станции:

$$Q_{mud} = Q_s + Q_a = 60,57 + 180,83 \approx 241,4.$$

Влажность смеси:

$$P_{mud} = 100(1 - M / Q_{mud}) = 100(1 - 8,19 / 241,4) = 96,6 \ %.$$

Зольность смеси:

$$z_{mud} = 100(1 - M_z / M') = 100(1 - 5,45 / 7,78) = 30 \ %.$$

Определение вместимости метантенков

Принимаем к проектированию термофильный режим сбраживания, так как он заканчивается примерно в два раза быстрее мезофильного и обеспечивает полную дегельминтизацию осадка.

При влажности исходной смеси 96,6 % доза загрузки для мезофильного режима D_{mt} составит 18,6 %.

Вместимость метантенков, м³:

$$W_{mt} = 100 \frac{Q_{mud}}{D_{mt}} = 100 \frac{241,4}{18,6} = 1297,8.$$

Принимаем вместимость и количество типовых метантенков:

$$N = W_{mt} / W_{тип} \geq 2.$$

Возьмем к проектированию два метантенка с полезным объемом по 1000 м³ и размерами: диаметр — 12,3 м; высота верхнего конуса — 1,9 м; высота цилиндрической части — 9,6 м; высота нижнего конуса — 2,15 м; строительный объем здания обслуживания — 652 м³; строительный объем газового киоска — 100 м³.

Уточнение дозы загрузки:

$$D'_{mt} = 100 \frac{Q_{mud}}{N_{mt} W'_{mt}} = 100 \frac{241,4}{2 \cdot 1000} = 12,1 \text{ \%}.$$

Определение выхода газа и вместимости газгольдера

Подсчитаем предел распада смеси по формуле

$$R = R_{lim} - K_r D_{mt},$$

где R_{lim} — предел сбраживания для смеси осадка с активным илом, определяемый по долевого соотношению компонентов беззольного вещества (БЗВ):

$$R_{lim} = \frac{53O_z + 44A_z}{M_z} = \frac{53 \cdot 2,14 + 44 \cdot 3,31}{5,45} = 47,5 \text{ \%};$$

K_r — коэффициент распада БЗВ-осадка;

$$R = 47,5 - 0,198 \cdot 12,1 = 45,1 \text{ \%}.$$

Удельный выход газа, м³:

$$\Gamma = R / (\gamma \cdot 100) = 45,1 / (1,05 \cdot 100) = 0,43,$$

где γ — плотность газа, кг/м³.

Суточный выход газа, м³/сут:

$$Q_{\Gamma} = 1000 \Gamma \cdot M_z = 1000 \cdot 0,43 \cdot 5,45 = 2345,5.$$

Вместимость газгольдера, м³, с учетом периода накопления газа T_{Γ} от 4 до 24 ч:

$$W_{\Gamma} = Q_{\Gamma} \frac{T_{\Gamma}}{24} = 2345,5 \frac{6}{24} = 585,88.$$

Количество типовых газгольдеров при условии

$$N = W_{\Gamma} / W_{тип} \geq 2.$$

Примем к проектированию два газгольдера вместимостью 300 м³ с внутренними диаметрами резервуара и колокола соответственно 9300 мм и 8500 мм; высотой газгольдера 12 500 мм, резервуара 5920 мм и колокола 6880 мм.

Определение показателей сброженного осадка

Общая масса БЗВ в сброженном осадке, т/сут:

$$M_{zs} = M_z (1 - R / 100) = 5,45 (1 - 45,1 / 100) = 2,99.$$

Масса абсолютно сухого вещества, т/сут:

$$M'_s = M_{zs} + M_{zol} = 2,99 + 2,33 = 5,32.$$

Общая масса сухого вещества, т/сут:

$$M_s = \frac{M'_s \cdot 100}{100 - H_p} = \frac{5,32 \cdot 100}{100 - 5} = 5,60.$$

Влажность сброженного осадка:

$$P_s^{mud} = 100(1 - M_s / Q_{mud}) = 100(1 - 5,60 / 241,4) = 97,6 \text{ \%}.$$

Зольность сброженного осадка:

$$z_s^{mud} = 100 M_{zol} / M'_s = 100(1 - 2,33 / 5,32) = 56,2 \%$$

Показатель распада БЗВ:

$$R_z = 100(M_z - M_{zs}) / M_z = 100(5,45 - 2,99) / 5,45 = 45,0 \%$$

Показатель эффективности сбраживания:

$$E = R \cdot 100 / R_{lim} = 45,1 \cdot 100 / 47,5 = 94,9 \%$$

Подбор механического оборудования для обезвоживания осадка

Механическое обезвоживание с применением фильтр-прессов дает возможность снизить влажность осадка до 78–80 %. Перед обезвоживанием осадка следует предусмотреть его промывку очищенной сточной водой.

Количество промывной воды для промывки сброженной в термофильных условиях смеси — $q_{ww} = 3 \text{ м}^3/\text{м}^3$:

$$Q_{см} = Q_{mud}(q_{ww} + 1) = 241,4 \cdot 4 \approx 965,6 \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$q_{см}^ч = \frac{Q_{см}}{24} = \frac{965,6}{24} = 40,23 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Объем камеры промывки осадка, м^3 :

$$W = Q_{см} t_{пр} / 60 = 40,23 \cdot 20 / 60 = 13,41,$$

где $t_{пр}$ — продолжительность промывки, мин.

Принимаем размеры камеры промывки: $2 \times 3 \times 3 \text{ м}$.

Камеры оборудуются подводом воздуха и воды, а также устройством для удаления всплывающих веществ. Сжатый воздух подается в количестве $0,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ через дырчатые трубы, уложенные на дне, $\text{м}^3/\text{сут}$:

$$Q_{возд} = 0,5 Q_{см} = 0,5 \cdot 965,6 = 428,8.$$

Уплотнение промытого осадка производится в уплотнителях.

Продолжительность уплотнения 12–18 ч. Объем уплотнителей, м^3 , при времени пребывания в нем смеси $t_{упл} = 14 \text{ ч}$:

$$W_{упл} = q_{см}^ч t_{упл} = 40,23 \cdot 14 = 563,22.$$

Количество уплотнителей надлежит принимать не менее двух; размеры уплотнителя: диаметр $d = 9 \text{ м}$ и высота $H = 5 \text{ м}$;

$$W_{тип} = \frac{\pi d^2}{4} H = \frac{3,14 \cdot 9^2}{4} \cdot 5 = 317,9 \text{ м}^3;$$

$$N = W_{упл} / W_{тип} = 563,22 / 317,9 = 1,8 \approx 2 \text{ шт}.$$

Принимаем два уплотнителя.

После уплотнения сброженный осадок подвергается коагулированию химическими реагентами. В качестве реагентов применяем хлорное железо и известь в виде растворов.

Кондиционирование осадков минеральными реагентами

Добавку извести в осадок следует предусматривать после введения хлорного железа.

Количество реагентов определяем в расчете по FeCl_3 и CaO , при этом их дозы принимаем в процентах к массе сухого вещества осадка: $D_{\text{FeCl}_3} = 4$, $D_{\text{CaO}} = 15,6$.

Общее количество смеси осадков на станции: $Q_{mud} = 241,4 \text{ м}^3/\text{сут} = 10,06 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Влажность промытого и уплотненного сброженного осадка — $H_p = 96,5 \%$, таким образом, концентрация сухого вещества в осадке $C = 35 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Часовой расход смеси сброженного осадка по сухому веществу, кг/ч:

$$G_{\text{см}} = Q_{\text{муд}} C = 10,06 \cdot 35 = 352,1.$$

Расход осадка вместе с реагентами, кг/ч:

$$G_o = G_{\text{см}} + G_{\text{реаг}} = G_{\text{см}} + G_{\text{см}} \left(\frac{D_{\text{FeCl}_3}}{100} + \frac{D_{\text{CaO}}}{100} \right); \quad G_o = 352,1 + 352,1 \left(\frac{4}{100} + \frac{15,6}{100} \right) = 421,1.$$

Принимаем производительность фильтр-прессов $L = 10$ кг/м²·ч.

Площадь фильтрации составит, м²:

$$F = G_o / L = 421,1 / 10 \approx 42,1.$$

Возьмем три камерных фильтр-пресса «КМП-22» (один резервный) с площадью поверхности фильтрования 22 м² каждый.

Давление промывной воды равно 0,5 МПа; подача скоагулированного осадка предусматриваем под давлением 1,6 МПа; расход сжатого воздуха на просушку осадка принимаем 0,2 м³/мин на 1 м² фильтровальной поверхности, т.е. $0,2 \cdot 44 = 8,8$ м³/мин; расход промывной воды — 4 л/мин на 1 м² фильтровальной поверхности, т.е. $4 \cdot 44 = 176$ л/мин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература

Водоотведение : учебник / Ю.В. Воронов, Е.В. Алексеев, Е.А. Пугачев, В.П. Саломеев. — Москва : Инфра-М, 2013.

Водоотведение [Электронный ресурс] : учебник / Ю.В. Воронов, Е.В. Алексеев, Е.А. Пугачев, В.П. Саломеев. — Москва : Издательство АСВ, 2014. — Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785930939835.html>

Каталог оборудования для очистки сточных вод. Сайт компании «Экотон». — URL: <https://ekoton.com/>

Сайт компании ТД «Прессмаш». — URL: <http://tdpressmash.ru/>

Рекомендуемая литература

1. СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85 (с изменениями № 1, 2). — Москва : Минрегион России, 2012.

2. Канализация населенных мест и промышленных предприятий (Справочник проектировщика) / под общ. ред. В.Н. Самохина. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Стройиздат, 1981.

3. Справочное пособие к СНиП 2.04.03–85. Проектирование сооружений для очистки сточных вод. — Москва : Стройиздат, 1990.

4. Водоотведение и водная экология [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / под общ. ред. проф. Е.В. Алексеева. — Москва : Издательство АСВ, 2016. — Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432301239.html>

5. Пугачев Е.А. Очистка городских сточных вод мегаполиса [Электронный ресурс] : монография / Е.А. Пугачев. — Москва : Издательство АСВ, 2015. — Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785930939286.html>

6. Водоснабжение и водоотведение. Наружные сети и сооружения : справочник / под ред. проф. Б.Н. Репина. — Москва : Высшая школа, 1995.

7. МДК 3-01.2001. Методические рекомендации по расчету количества и качества принимаемых сточных вод и загрязняющих веществ в системы канализации населенных пунктов. — Москва : Госстрой России, 2001.

8. Воронов Ю.В. Примеры расчетов биологических фильтров и станций биофильтрации : учебное пособие / Ю.В. Воронов, В.П. Саломеев, А.Л. Ивчатов. — Москва : МИСИ, 1989.

9. Degremont. Технический справочник по обработке воды : в 2 т. / пер. с франц. — Санкт-Петербург : Новый журнал, 2007.

10. Очистка сточных вод / М. Хенце, П. Армоэс, Й. Ля-Кур-Янсен, Э. Арван. — Москва : Мир, 2004.

11. Сайт компании ООО «ПрогрессУралИнжиниринг». — URL: <http://www.progressural.com/>

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

ФГБОУ ВО
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Кафедра «Водоснабжение и водоотведение»

ПРИЛОЖЕНИЕ

к заданию на курсовое проектирование *

Дисциплина: «ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД»

Тема:

Курс			
Группа		Вариант:	
Обучающийся			
Населенный пункт			
Район строительства			
Численность населения города, тыс. чел.			
Норма водоотведения, л/(чел.·сут)			
Дополнительные данные			
Промышленное предприятие			
Среднесуточный сброс сточных вод, тыс. м ³ /сут			
Показатели сточных вод			
Взвешенные вещества, мг/л			
Биоразлагаемость по БПК _{полн} , мг/л			
Окисляемость по ХПК, мг/л			
Азот аммонийный, мг/л			
Фосфаты, мг/л			
Специфические загрязняющие вещества			
Показатели очищенных сточных вод			
Взвешенные вещества, мг/л			
Биоразлагаемость по БПК _{полн} , мг/л			
Специфические загрязняющие вещества			
Дополнительные данные			
Руководитель проектирования:	Подпись	Должность, Ф.И.О.	

* задание оформляется в соответствии с положением о курсовом проектировании

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОЦЕЖИВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД

Таблица П2.1

Основные показатели механизированных решеток

Марка	Номинальные размеры канала $B \times H$, мм	Ширина канала в месте установки решетки, мм	Количество прозоров	Толщина стержней, мм	Радиус поворота, мм
МГ-5Т	2000×3000	2290	84	8	3810
МГ-6Т	2000×2000	2290	84	8	2850
МГ-7Т	800×1400	950	31	8	2100
МГ-8Т	1400×2000	1570	55	8	2850
МГ-9Т	1000×1200	1140	39	8	2050
МГ-10Т	1000×2000	1200	39	8	2850
МГ-11Т	1000×1600	1200	39	8	2425
МГ-12Т	1600×2000	1790	64	8	2850
РМУ-1	600×800	685	21	6	–
РМУ-2	1000×1000	1550	39	6	–
РМУ-3	1000×2000	1550	39	6	–
РМУ-4	1500×2000	2035	60	6	–
РМУ-5	2000×2000	2535	84	6	–
РМУ-6	2000×2500	2535	84	6	–
РМУ-7	2500×3000	3035	107	6	–

Таблица П2.2

Основные показатели решеток-дробилок типа РД

Марка	Максимальная пропускная способность, м ³ /ч	Ширина щелевых отверстий, мм	Суммарная площадь щелевых отверстий, см ²	Диаметр барабана, мм	Частота вращения барабана, мин ⁻¹	Мощность электродвигателя, кВт
РД-100	30	8	76,4	100	85	0,27
РД-200	60	8	190	180	53	0,6
РД-400	420	10	1190	400	31	0,8
РД-600	2000	10	4550	635	31	1,5

Примечание. Скорость движения воды в щелевых отверстиях — 1...1,2 м/с.

Технические характеристики ступенчатых решеток фирмы «РИОТЭК»

Наименование параметра	Размерность	Индекс изделия								
		PC-240	PC-270	PC-500M	PC-500L (без нижн. попереч.)	PC-500L (с нижн. попереч.)	PCП-600	PC-630L	PC-670	PC-860L
Ширина решетки — ширина канала (бака)	мм	242 (270)*	270 (300)	470 (500)	477 (500)	477 (500)	570 (600)	570 (600)	679 (700)	860 (900)
Ширина фильтрующей части	мм	125	140	342	350	350	402	437	550	727
Общая высота	мм	735 (1155)*	1800	915 (1590)	1950	1950	2080	1060 (1730)	2250	1060
Длина	мм	1145 (1230)*	1850	1275 (1385)	2005	1950	2260	1535 (1650)	2280	1535 (1650)
Максимальная глубина канала (бака)	мм	510	800	800	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Ширина прозоров	мм	2,2 3,8	2,1 2,9 4	2,2 5,5	3 5 10	3 5 10	3 10	2 3 5	3 5 10	2,5
Толщина пластин	мм	2	3	2	3	3	3	3	3	3
Номинальная производительность по сточной жидкости	м ³ /ч	30 40	115 115 130	210 340	380 490 600	380 490 600	300 550	350 490 615	600 760 940	460 710
Номинальный уровень жидкости перед решеткой	мм	400	600	500	1000	1000	630	820	800	820
Мощность электродвигателя	кВт	0,18	0,25	0,37	0,37	0,37	0,37	0,75	1,1	0,75

Наименование параметра	Размерность	Индекс изделия								
		PC-1000	PC-1000L	PC-100K	PC-1000K-01	PC-1200L	PC-1200K	PC-1200LN	PC-1500M	PC-1900M
Ширина решетки — ширина канала (бака)	мм	1060 (1100)	953 (1000)	953 (1000)	953 (1000)	1161 (1200)	1161 (1200)	1161 (1200)	1460 (2000)	1960 (2000)
Ширина фильтрующей части	мм	840	807	797	797	1005	1005	1005	1260	1757
Общая высота	мм	1440 (2470)	1730	1520	1520	1730	1520	1900 (2800)	2860	3250
Длина	мм	2530 (2640)	2910	2790	2790	2910	2790	1900 (2000)	3870	4340
Высота выгрузки осадка	мм	1180 (1290)	2230	1900	1900	2230	1900	665 (750)	2480	3000
Максимальная глубина канала (бака)	мм	1500	1800	1500	1250	1800	1500	1000	2000	2950
Ширина прозоров	мм	2 5	2 5	4 5	4 5	2 5	3	3	5	5
Толщина пластин	мм	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Номинальная производительность по сточной жидкости	м ³ /ч	960 1740	1800 1150	1500 1650	1280 1400	1460 2280	1600	700	3000	6300
Номинальный уровень жидкости перед решеткой	мм	1200	1280	1180	1180	1280	1180	800	1600	2400
Мощность электродвигателя	кВт	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	3	2,2	2,2

* в скобках указан вариант установки ступенчатых решеток в приемном баке

Таблица П2.4

Основные показатели решеток типа РСК

Типоразмер	Размеры решетки, мм		Размеры канала, мм		Радиус поворота, мм
	Ширина	Длина	Ширина	Глубина	
09	576; 672	2225	600–800	800–1100	2246
12	576; 672; 864	2601	600–900	800–1300	3665
15	864; 1056; 1248	3085	900–1100	1200–1500	2978
18	864; 1056; 1728	3461	900–2000	1500–1800	3350
21	1056; 1248; 1728	3837	1100–2000	1700–2000	3723

СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Таблица П2.5

Основные показатели песколовок с круговым движением воды

Количество отделений, шт.	Пропускная способность		Основные размеры, м					
	тыс. м ³ /сут	л/с	Диаметр	Строительная высота	Ширина желоба	Высота желоба	Глубина	Расстояние между центрами
2	1,4–2,7	31–56	4	3,45	0,5	0,70	2	6,0
2	2,7–4,2	56–83	4	3,45	0,5	0,72	2	6,0
2	4,2–7,0	83–133	4	3,45	0,8	0,82	2	6,0
2	7,0–10,0	133–183	4	3,45	0,8	0,93	2	6,0
2	10,0–17,0	183–278	6	5,25	1,0	0,92	3	10,0
2	17,0–25,0	278–394	6	5,25	1,4	1,03	3	10,0
2	25,0–40,0	394–590	6	5,25	1,5	1,05	3	0,4
2	40,0–64,0	590–920	6	5,25	1,8	1,05	3	10,0

Таблица П2.6

Основные показатели аэрируемых песколовок

Пропускная способность, тыс. м ³ /сут	Количество отделений	Размеры, м			Отношение В/Н	Расход воздуха на аэрацию (м ³ /ч) при интенсивности 3 м ³ /(м ² ·ч)
		Ширина	Глубина	Длина		
70	2	3,0	2,1	12	1,34	200
100	3	3,0	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

Таблица П2.7

Основные типоразмеры горизонтальных песколовок

Показатели	Пропускная способность очистной станции, тыс. м ³ /сут				
	70,0	100,0	140,0	200,0	280,0
Расчетный расход, м ³ /сут	0,97	1,36	1,87	2,68	3,76
Количество отделений	2,0	3,0	4,0	3,0	4,0
Длина	15,0	15,0	18,0	18,0	18,0
Ширина	3,0	3,0	3,0	4,5	4,5
Глубина*	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7

* уточняется расчетом

Таблица П2.8

Основные параметры первичных горизонтальных отстойников

Размеры отделения, м			Количество отделений в секции	Расчетный объем отстойника, м ³	Пропускная способность, м ³ /ч, при времени отстаивания 1,5 ч
Ширина	Длина	Глубина зоны отстаивания			
6	24	3,15	4	1740	1160
6	24	3,15	6	2610	1740
9	30	3,1	4	3200	2130
9	30	3,1	6	4800	3200
9	30	3,1	8	6400	4260

Таблица П2.9

Размеры блоков преаэратор – первичный горизонтальный отстойник

Количество отделений	Расчетный объем, м ³		Строительный объем, м ³	Пропускная способность, м ³ /ч
	Преаэратор	Отстойник		
4	720	3200	5173	2130
6	1080	4800	7768	3200
8	1440	6400	10330	4260

Примечание. Пропускная способность дана при продолжительности аэрации 20 мин и отстаивания 1,5 ч.

Таблица П2.10

Основные параметры радиальных отстойников

Отстойник	Диаметр, м	Гидравлическая глубина отстойника, м	Высота иловой зоны, м	Объем, м ³		Пропускная способность, м ³ /ч, при времени отстаивания 1,5 ч
				проточной части	осадочной части	
Первичный	18	3,4	0,3	788	120	525
Вторичный	18	3,7	0,6	788	160	525
Первичный	24	3,4	0,3	1400	210	930
Вторичный	24	3,7	0,6	1400	280	930
Первичный	30	3,4	0,3	2190	340	1460
Вторичный	30	3,7	0,6	2190	440	1460
Первичный	40	4,0	0,35	4580	710	3054
Вторичный	40	4,35	0,7	4580	915	3054
Первичный	50	5,2	0,6	9220	1170	6150
Вторичный	50	5,3	0,7	9220	1380	6150

Таблица П2.11

Основные параметры вертикальных отстойников

Отстойник	Материал	Диаметр, м	Высота, м			Пропускная способность, м ³ /ч, при времени отстаивания 1,5 ч
			проточной части	осадочной части	общая	
Первичный	Монолитный железобетон	4	4,1	1,8	5,9	31,0
Вторичный		4	2,1	1,8	3,9	25,2
Первичный	»	6	4,1	2,8	6,9	69,5
Вторичный		6	3,0	2,8	5,8	49,7
Первичный	Сборный железобетон	6	4,2	3,3	7,5	69,5
Вторичный		6	3,0	3,3	6,3	49,4
Первичный	»	9	4,2	5,1	9,3	156,5
Вторичный		9	3,0	5,1	8,1	111,5

СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД

Таблица П2.12

Основные параметры капельных биофильтров

Объем загрузки секции, м ³	Размеры одного отделения в плане, м	Размеры здания в осях, м	Строительный объем здания, м ³	Пропускная способность, м ³ /сут
216	6×9	12×24	1357	220...450
432	9×12	12×30	2240	450...900
1008	12×21	21×30	4687	1000...2100
864	12×18	15×42	3990	900...1800
1512	21×18	24×42	6510	1500...3000
2520	21×30	24×66	10 180	2500...5000

Примечание. Высота слоя загрузки — 2 м.

Таблица П2.13

Основные параметры высоконагружаемых биофильтров, прямоугольных в плане

Объемы загрузки секции, м	Размеры одного отделения в плане, м	Размеры здания в осях, м	Строительный объем здания, м ³	Пропускная способность, м ³ /сут
216...432	6×9	12×24	1357...2714	450...900
432...864	9×12	12×30	2240...4480	900...1800
1008...2016	12×21	21×30	4687...9374	2100...4200
864...1728	12×18	15×42	3990...7980	1800...3600
1512...3024	21×18	24×42	6510...13 020	3000...6000
2520...5040	21×30	24×66	10 180...20 360	5000...10 000

Примечания:

- 1) высота слоя загрузки — 2...4 м;
- 2) размещение биофильтров возможно на открытом воздухе;
- 3) орошение биофильтров — через спринклерные головки.

Таблица П2.14

Основные параметры высоконагружаемых биофильтров, круглых в плане

Объемы загрузки секции, м ³	Диаметр одного отделения в плане, м	Пропускная способность, м ³ /сут
85...113	6	242...450
190...254	9	570...750
339...452	12	1000...1800
763...1017	18	2290...4070
1357...1809	24	4070...7236
2120...2826	30	6300...11 300

Примечание. Высота слоя загрузки — 3...4 м.

Таблица П2.15

Основные параметры биофильтров с плоскостной загрузкой

Пропускная способность, м ³ /сут	Объемы загрузки секции, м	Форма биофильтра в плане	Размеры или диаметр секции в плане, м
200	16,0	Прямоугольная	2×2
200	13,0	Круглая	d = 2
700	56,0	Прямоугольная	3,5×3,5
700	50,2	Круглая	d = 4
1400	67,0	Прямоугольная	4,1×4,1
1400	63,6	Круглая	d = 4,5

Примечание. Высота слоя загрузки — 4 м.

Таблица П2.16

Плоскостные загрузочные материалы

Страна-изготовитель и тип загрузки	Плотность, кг/м ³	Пористость, %	Площадь удельной поверхности, м ² /м ³	Масса, кг/м ³	Загрузка
Россия					
«Сложная волна»	40	96	80	0,5	Блочная
ЗОЗП	60	94	120	0,75	»
Гофрированные трубки	60	94	140	0,75	Блочная и засыпная
США					
Сэфпак	48	94	187	0,17	Блочная
Корозил	68	95	122	0,45	»
Доупак	60	94	82	0,73	»
Великобритания					
Фловик А	76	95	160	0,48	»
Флокор Е	39	96	90	0,43	»
Флокор Р	40	94	240	0,17	»
Франция					
Клоизонил 1	80	94	220	0,36	»
Клоизонил 2	70	95	180	0,39	»
Германия					
Эваллпорит	50	94	160	0,31	Засыпная
Гидропак	50	95	200	0,3	Блочная

Таблица П2.17

Основные размеры коридорных аэротенков-вытеснителей (конструкции ЦНИИЭП инженерного оборудования)

Ширина коридора, м	Рабочая глубина аэротенка, м	Количество коридоров	Рабочий объем одной секции, м ³ , при ее 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	8600				
		4	2070...2416	2762...3108	3994...3200				
	4,4	2	1420...1658	1896...2134	2372				
		3	2140...2496	2652...3208	3564				
		4	2850...3325	3800...4275	4750...5225				
6,0	4,4	2		2530...2847	3154...3471	3788			
		3		3800...4275	4750...5225	5700			
		4		5700	5334... 6968	7602...8230	6870		
	5,0	2		2880...3240	3600... 3960	4320			
		3		4320...4860	5400...5940	6480			
		4		6500	7220...7940	8666...9380	10 100		
9,0	4,4	2				6180	6655...7130	7505...7980	8455
		3				9270	9983...10 696	11 409...12 122	12 835
		4				—	10 300...14 250	15 200...16 150	17 100...18 050
	5,0	2				7020	7560...8100	8640...9180	9720
		3				10 530	11 340...12 150	12 960...13 770	14 580
		4				—	15 120...16 200	17 280...18 360	19 440...20 520

Таблица П2.18

Основные размеры аэротенков последовательного смешения (конструкции Союзводоканалниипроект)

Ширина коридора, м	Рабочая глубина, м	Количество коридоров	Рабочий объем одной секции, м ³ , при ее длине, м						Количество секций	Аэрация
			24	36	42	60	84	120		
3	1,2	2	170						3	Механическая
3	1,2	2		260					3...4	»
4	4,5	2	864	1296					2...4	Низконапорная
6	5,0	3			3780				2...4	Пневматическая донная
		3				5400			2...4	»
		3					7560			2...5
9	5,2	4						21 680	3...8	»
		4							28 080	3...8

Таблица П2.19

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

Тип аэротенка*	Длина, м	Рабочий объем, м ³	Расстояние между впусками, м	Количество секций	Пропускная способность станции, тыс. м ³ /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...12 370	12	2...5	100...250
АР-4-9-4,4	90...114	14840...18 800	12	2...5	150...300
АР-4-9-5	90...114	16 800...21 300	12	3...5	200...400

* первая цифра обозначает количество коридоров, вторая — ширину коридора, третья — гидравлическую глубину

Таблица П2.20

Техническая характеристика блока аэротенка с горизонтальными вторичными отстойниками

Зона аэрации		Зона отстаивания		Расчетная пропускная способность блока, м ³ /ч
Количество секций	Рабочий объем, м ³	Количество секций	Рабочий объем, м ³	
2	7920...13 860	4	3520...4576	1760
3	11 880...20 790	6	5280...6864	2640
4	15 840...27 720	8	7040...9152	3520

Примечания:

1) расчетная пропускная способность определена при минимальной длине блока для БПК_{полн} = 140 мг/л осветленной воды и продолжительности пребывания во вторичных отстойниках 2 ч;

2) ширина секций в зоне аэрации — 18 м, длина — 48...84 м; в зоне отстаивания — соответственно 9 м и 30...39 м.

Таблица П2.21

Технические данные турбовоздуходувок и нагнетателей

Марка машины	Объем засасываемого воздуха, м ³ /ч	Давление нагнетания, МПа	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощность электродвигателя, кВт	Габариты агрегата, м		
					Длина	Ширина	Высота
ТВ-42-1,4	3600	0,14	2940	55	2,52	1,55	1,48
ТВ-50-1,6	3600	0,16	2960	100	2,63	1,55	1,58
ТВ-80-1,4	6000	0,142	2960	100	2,75	1,55	1,48
ТВ-80-1,6	6000	0,163	2970	165	2,85	1,55	1,48
ТВ-80-1,8	6000	0,177	2965	200	3,05	1,55	1,58
ТВ-175-1,6	10 000	0,163	2970	320	3,32	1,68	1,63
ТВ-300-1,6	18 000	0,16	2970	400	3,63	1,9	1,74
360-21-1	22 500	0,18	3000	800	6,0	3,2	3,0
750-23-6	43 200	0,162	3000	925	6,3	3,7	3,5
1200-25-3	47 400	0,155	3000	1000	6,5	3,8	4,0

Примечание. Для нагнетателей (последние две строки) указаны длина и ширина фундамента агрегата, а также высота подвального помещения.

Таблица П2.22

Характеристика воздухоудных станций

Производительность станций по воздуху, тыс. м ³ /ч	Марка воздухоудных машин	Количество агрегатов, всего/резервных	Размеры здания в плане, м	Строительный объем здания, м ³
5...10	ТВ-50-1,6	3/1	30×12	2850
15	ТВ-80-1,6	3/1	30×12	2850
25	ТВ-80-1,6	4/1	30×18	6420
40	ТВ-175-1,6	6/2	42×12	5400
60	ТВ-175-1,6	8/2	42×18	8260
70	ТВ-300-1,6	6/2	45×12	5940
90	ТВ-300-1,6	8/2	42×18	8260
180	750-23-6	6/2	60×18	19 200

Таблица П2.23

Техническая характеристика контактных резервуаров

Пропускная способность, тыс. м ³ /сут	Расчетный объем, м ³	Количество отделений	Размеры отделения, м		
			Ширина	Длина	Глубина
35	972	3	6	18	3,2
50	1350	3	6	24	3,2
50	1382	4	6	18	3,2
70	1729	3	6	30	3,2
70	1843	4	6	24	3,2
100	2534	4	6	33	3,2
140	3200	3	9	36	3,3
200	4200	3	9	48	3,3

СООРУЖЕНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Таблица П2.24

Конструктивные размеры метантенков

Диаметр, м	Полезный объем одного резервуара, м ³	Высота, м			Строительный объем, м ³	
		верхнего конуса	цилиндрической части	нижнего конуса	здания обслуживания	газового киоска
12,3	1000	1,9	9,6	2,15	652	100
14,0	1600	2,35	11,8	2,6	2035	112
16,6	2500	2,5	12,5	3,05	2094	136
19,2	4000	2,9	14,7	3,5	2520	174
18,0	6000	3,15	18,0	3,5	2700	170
22,4	8000	4,45	16,3	3,7	2000	170
22,75	9000	4,52	17,88	3,62	—	—

Таблица П2.25

Основные данные газгольдеров

Объем газгольдера, м	Внутренний диаметр, мм		Высота, м		
	резервуара	колокола	газгольдера	резервуара	колокола
100	7400	6600	7450	3450	3400
300	9300	8500	12 500	5920	6880
600	11 480	10 680	15 400	7390	7610
1000	14 500	13 700	15 400	7390	7610
3000	11 050	20 250	20 100	9800	9900
6000	26 900	26 100	24 200	11 750	12 050

Таблица П2.26

Показатели работы гравитационных решеток

Концентрация сухого вещества в исходном осадке, г/л	Гидравлическая нагрузка, м ³ /(м ² ·ч)	Концентрация сухого вещества в уплотненном осадке, %
2...4	28...35	4,0...6,0
8	25...30	4,5...6,5
10	22...28	5,0...6,5
15	17...22	6,0...8,0
20	15...20	6,0...10,0

Таблица П2.27

Технические характеристики гравитационных столов типа СГ

Основные характеристики	СГ 12	СГ 16	СГ 20
Производительность, т/ч: по исходному осадку ($P = 98...99\%$), $\text{м}^3/\text{ч}$ по сухому веществу, $\text{кг}/\text{ч}$	До 30 600	До 40 800	До 50 1100
Влажность уплотненного осадка, %	94...96	94...96	94...96
Ширина лент, мм	1200	1600	2000
Мощность привода, кВт	1,1	1,1	1,75
Длина, мм	3670	3670	3670
Ширина, мм	1975	2375	2775
Высота, мм	1600	1600	1600
Масса, кг	1100	1200	1700

Таблица П2.28

Технические характеристики фильтр-прессов типа КМП

Тип	КМП 2,5	КМП 5	КМП 10*	КМП 12,5	КМП 22*	КМП 25
Площадь поверхности фильтрования, м^2	2,5	5,0	10,0	12,5	22,0	25,0
Объем камерного пространства, м^2	0,11	0,22	0,51	0,55	1,19	1,1
Давление, МПа ($\text{кгс}/\text{см}^2$): рабочее (суспензии, промывочной жидкости, воздуха, воды, при отжиме диафрагмой), не более	1,6 (16)	1,6 (16)	1,6 (16)	1,6 (16)	1,6 (16)	1,6 (16)
Температура фильтруемой среды, $^{\circ}\text{C}$	5–80					
Наибольшая толщина осадка, мм	35	35	45	35	45	35
Предельно допустимая нагрузка по влажному осадку, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	110	110	110	110	110	110
Потребляемая мощность, кВт, не более	24	24	24	24	24	24
Длина, мм	2910	2910	3980	3980	3980	3980
Ширина, мм	1950	1950	2350	2350	2350	2350
Высота, мм	2550	3300	3100	3100	4200	4200

* фильтр-прессы для легкофильтруемых суспензий

Таблица П2.29

Техническая характеристика ленточных фильтр-прессов типа ПЛ

Основные характеристики	ПЛ 12	ПЛ 16	ПЛ 20
Производительность, т/ч: по сухому веществу, $\text{кг}/\text{ч}$ по объему осадка, $\text{м}^3/\text{ч}$	500 14	70 020	900 25
Ширина лент, мм	1200	1600	2000
Скорость лент, м/мин	от 1,5 до 6,0		
Мощность, кВт: привода компрессора	2,2 0,75	2,2 0,75	2,2 0,75
Длина, мм	4100	4100	4100
Ширина, мм	2150	2550	2950
Высота, мм	1950	1950	1950
Влажность кека, %	75...80		

Техническая характеристика серийных центрифуг

Показатели	Типы центрифуг				
	ОГШ-352 К-03	ОГШ-502 К-04	ОГШ-631 К-02	ОГШ-1001 К-01	ОГШ-501 К-10
Расчетная производительность по исходному осадку, м ³ /ч: без флокулянтов	4...7	6...12	20...40	50...80	15...25
с флокулянтами	1...3	1...3	15...26	35...60	8...15
Наибольший рабочий диаметр ротора, мм	350	500	630	1000	500
Рабочая длина ротора, мм	1000	930	2370	3600	1800
Частота вращения ротора, мин ⁻¹	2800...4250	2000...2650	3000	1000	2650
Фактор разделения	1500...3500	1100...1950	1400	560	1960
Длина, мм	2200	2710	5100	6650	3860
Ширина, мм	1860	1990	2750	3600	2080
Высота, мм	1135	1526	1450	2130	1210
Мощность электродвигателя, кВт	18,5	28...32	90	110	75

Показатели барабанных сушилок типа БН

Типоразмер (диаметр и длина барабана, м)	Производительность по испаренной влаге, кг/ч, не менее	Масса, кг
БН 1,2-6 НУ	310–450	7800
БН 1,6-8 НУ	660–830	14 800
БН 2,0-12 НУ	1590–1720	28 400
БН 2,2-12 НУ	1920–2140	33 500
БН 2,2-18 НУ	2870–3550	39 500
БН 2,8-20 НУ	5740–6800	111 600
БН 3,2-22 НУ	7750–9400	159 860
БН 3,5-27 НУ	11 600–15 500	215 520

Редактор *Л.В. Себова*
Корректор *В.К. Чупрова*
Компьютерная правка и верстка *Л.В. Себовой*
Дизайн первого титульного экрана *Д.Л. Разумного*

Для создания электронного издания использовано:
Microsoft Word 2010, ПО Adobe Acrobat Pro

Подписано к использованию 06.05.2019. Объем данных 25,1 Мб.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет».
129337, Москва, Ярославское ш., 26.

Издательство МИСИ – МГСУ.
Тел.: (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95.
E-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru