

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»  
Институт гражданской защиты  
Кафедра инженерной защиты окружающей среды

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Учебно-методическое пособие  
для бакалавров, обучающихся по направлению  
20.03.02 «Природообустройство и водопользование»



Ижевск  
2024

УДК 628.33(075.8)  
ББК 38.761.204-02я73  
П791

*Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом УдГУ*

**Рецензент:** канд. техн. наук, доцент, зав. каф. защиты в чрезвычайных ситуациях и упр. рисками ин-та гражданской защиты ФГБОУ ВО «УдГУ», директор ООО «ИжРapid» **С.В. Ширококов**

**Составители:** Дружакина О.П., Бухарина И.Л., Борисова Е.А., Пашкова А.С., Ведерников К.Е., Самигуллина Г.З., Лебедева М.А.

П791 Проектирование устройств механической очистки сточных вод : учеб.-метод. пособие для бакалавров, обучающихся по направлению 20.03.02 «Природообустройство и водопользование» : [Электрон. ресурс] / сост. О.П. Дружакина, И.Л. Бухарина., Е.А. Борисова и [др.] – Ижевск : Удмуртский университет, 2024. – 110 с.

В учебно-методическом пособии рассмотрены основные природоохранные сооружения по механической очистке сточных вод. Пособие предназначено для учащихся бакалавриата 20.03.02 «Природообустройство и водопользование», а также специалистов в области инженерной защиты окружающей среды и рационального природопользования.

УДК 628.33(075.8)  
ББК 38.761.204-02я73

© Дружакина О.П., Бухарина И.Л., Борисова Е.А., Пашкова А.С., Ведерников К.Е., Самигуллина Г.З., Лебедева М.А., сост., 2024  
© ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», 2024

## ВВЕДЕНИЕ

В эпоху развития инновационных технологий, роста производственных мощностей не только по объему, но и типам вовлекаемых в технологические процессы ресурсов, одной из приоритетных задач остается сохранение окружающей среды и рациональное природопользование. Одним из широко используемых в подавляющем большинстве производств ресурсом являются водные ресурсы, получающие различные виды загрязнений в результате вовлечения в технологические процессы. Дальнейший сброс таких стоков в природные водоемы без соответствующей очистки может стать причиной загрязнения и последующей деградации водоема.

С позиции воспитания компетентных специалистов, способных комплексно решать поставленные прикладные (инженерные) задачи, изучение конструкций и сооружений водоочистки промышленных стоков является неотъемлемым элементом образовательной программы.

Данное учебно-методическое пособие направлено на формирование у учащихся бакалавриата 20.03.02 «Природообустройство и водопользование» таких компетенций, как:

ОПК 1 – способен участвовать в осуществлении технологических процессов по инженерным изысканиям, проектированию, строительству, эксплуатации реконструкции объектов природообустройства и водопользования

ПК 5 – способен к организации работ по эксплуатации объектов природоохранного обустройства территорий

ПК 3 – способность к организации работ ведению активного мониторинга природотехногенных систем, определению их технического и экологического состояния

Особенностью данного пособия является сочетание богатого теоретического и графического материала с методиками проектирования основных конструкционных и технологических параметров конструкций и сооружений механической очистки сточных вод. «Почему именно механической очистки стоков?» – спросите Вы.

Ответ прост. Именно эти методы обработки стоков являются предшественными для биологической и физико-химической групп обработки воды, обеспечивая требования по снижению содержания грубодисперсных нерастворимых механических и маслянистых загрязнений и примесей, затрудняющих, а порой и полностью исключаящих возможность применения более тонкой очистки – биологической и физико-химической. Широко развивающиеся локальные системы обработки стоков в подавляющей массе основываются на методах процеживания, отстаивания, фильтрования, центрифугирования. Особенно широко применяются технологии двух- и более ступенчатого фильтрования, позволяющие создавать локальные станции обезвреживания стоков, подземного и наземного типа, с последующим возвратом водных ресурсов в технологические процессы.

Данное пособие предназначено как для выполнения практических работ по курсам «Водохозяйственные системы и водопользование», «Проектирование и эксплуатация природоохранных сооружений», «Технологии утилизации и переработки отходов», так и для выполнения курсовых работ / проектов, выпускных квалификационных работ, целью которых является проектирование систем и сооружений водоочистки.

# ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1. СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

## Теоретическая часть

*Схемы и системы водоснабжения.* Системы водоснабжения – это комплекс взаимосвязанных инженерных сооружений, обеспечивающих прием воды из природного источника (водозаборные сооружения), транспортировку ее (водоводы), доведение до требуемых кондиций (очистные сооружения), подачу (насосные станции) и распределение по объекту (магистральные и распределительные сети), а также бесперебойный отбор требуемого количества воды с заданным напором в нужном режиме.

Системы водоснабжения различают:

– по видам объектов водоснабжения – системы водоснабжения городов (рис. 1 а, б, в, г); системы водоснабжения поселков и сельских населенных пунктов (рис. 1 д); системы водоснабжения производственных (включая сельскохозяйственные) объектов (рис. 1 ж, з);

– по охвату снабжаемых объектов – системы водоснабжения групповые (районные), охватывающие группу объектов (рис. 1 е) системы водоснабжения одного объекта;

– по природным источникам водоснабжения – системы, использующие воду поверхностных источников (рис. 1 а, г, е, ж, з); системы, использующие подземные воды (рис. 1 б, в, д);

– по кратности использования воды – прямоточные системы (рис. 1 ж); системы с последовательным использованием воды (рис. 1 з); оборотные системы водоснабжения (рис. 1 з);

– по способам подачи воды – самотечные системы (гравитационные); с механической подачей воды (нагнетательные);

– по видам потребителей системы хозяйственно-питьевого водоснабжения; производственного водоснабжения, противопожарного водоснабжения; поливочные; многофункциональные, охватывающие несколько видов потребителей.

*Система канализации промышленных предприятий.* Под канализацией (водоотведением) понимается комплекс оборудования, сетей и сооружений, предназначенных для организованного приема и удаления по трубопроводам за пределы населенных пунктов или промышленных предприятий загрязненных сточных вод, а также для их очистки и обезвреживания перед утилизацией или сбросом в водоем.

В зависимости от того, как отводятся бытовые, производственные и атмосферные сточные воды – совместно или раздельно, системы канализации принято подразделять на общесплавные, раздельные и полураздельные.

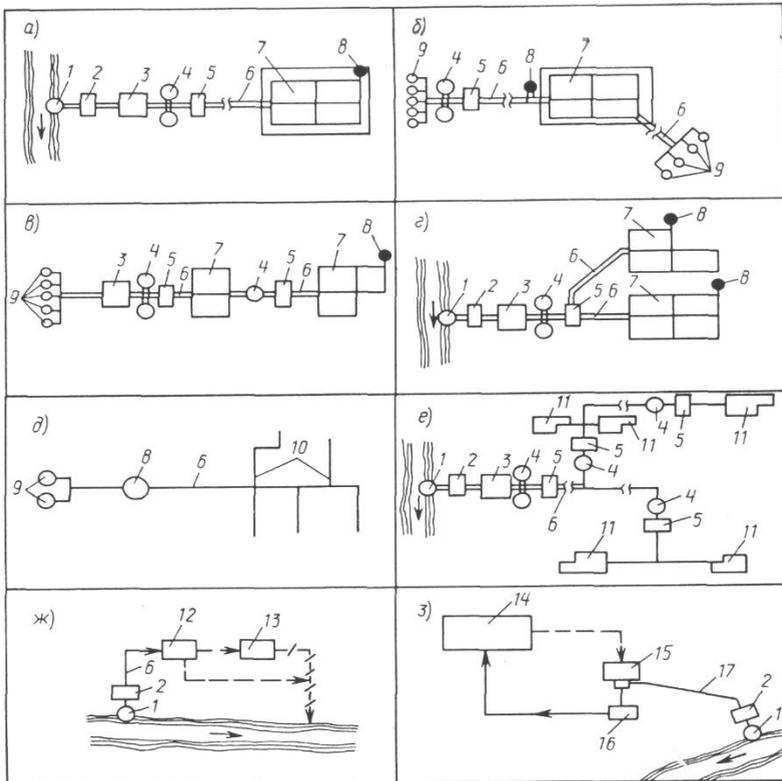


Рис. 1. Схемы систем водоснабжения

- а – города с поверхностным источником; б – города с двумя площадками артезианских скважин; в – города с последовательным зонированием; г – города с параллельным зонированием; д – сельского населенного пункта; е – группы потребителей (групповой водопровод); ж – промышленного предприятия, прямоточная и с последовательным использованием воды; з – промышленного предприятия, оборотная;
- 1 – водозаборные сооружения; 2 – насосная станция первого подъема; 3 – очистные сооружения; 4 – резервуары чистой воды; 5 – насосные станции второго и последующих подъемов; 6 – водоводы; 7 – магистральная водопроводная сеть; 8 – водонапорная башня, 9 – артезианские скважины; 10 – тупиковая сеть, 11 – потребители воды; 12, 13, 14 – производства на предприятии; 15 – очистная (охлажденная) установка; 16 – циркуляционная насосная станция; 17 – трубопровод подпиточной воды

При общесплавной канализации сточные воды всех видов отводятся к очистным сооружениям или в водоем по единой канализационной сети. При раздельной системе канализации отдельные виды вод отводятся по самостоятельным сетям. При полураздельной системе канализации в местах пересечения самостоятельных канализационных сетей имеются водосбросные камеры для отвода различных видов сточных вод.

Основные схемы систем водоотведения промышленных предприятий представлены на рис. 2.

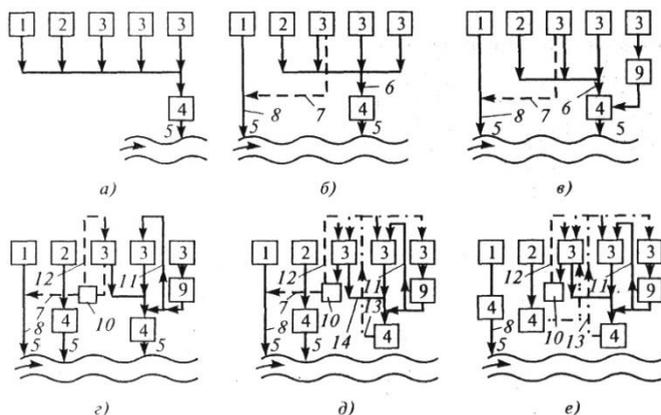


Рис. 2. Основные схемы систем канализации (водоотведения) промышленных предприятий:

- a* – общесплавной системы; *б* – раздельной системы с дождевой и производственно-бытовой сетями; *в* – то же, с локальными очистными сооружениями; *г* – раздельной системы с дождевой, бытовой и производственными сетями, локальными очистными сооружениями и частичным водооборотом; *д* – то же, с полным оборотом производственных сточных вод; *е* – раздельной системы бессточной канализации; 1 – дождевые воды; 2 – бытовые сточные воды; 3 – производственные сточные воды; 4 – очистные сооружения; 5 – выпуск в водоем; 6 – сеть бытовых и загрязненных производственных сточных вод; 7 – сеть незагрязненных производственных сточных вод; 8 – сеть дождевых вод; 9 – локальные очистные сооружения; 10 – сооружения по охлаждению незагрязненных сточных вод; 11, 12 – сеть оборотного водоснабжения соответственно после локальной очистки загрязненных и незагрязненных (после охлаждения) производственных сточных вод; 13, 14 – сеть оборотного водоснабжения после очистки соответственно загрязненных производственных и бытовых сточных вод

## Методика оценки эффективности использования воды на предприятии. Лимиты её забора промышленными предприятиями

Эффективность использования воды объектами-водопользователями можно контролировать несколькими методами. Но все они исходят из оборотного водоснабжения как всего промышленного предприятия, так и отдельных производств, цехов и установок.

Техническое совершенство системы оборотного водоснабжения объекта может быть оценено процентом использования оборотной воды по формуле:

$$P_{об} = \frac{W_{об}}{W_{об} + W_{заб.ист.}} \cdot 100\% , \quad (1.1)$$

где  $W_{заб.ист.}$  – количество воды, забираемое из источника;

$W_{об}$  – общее количество оборотной воды.

При этом чем ближе  $P_{об}$  к 100 %, тем совершеннее система. Среднее значение  $P_{об}$  в промышленности страны составляет 71 %, а на многих предприятиях металлургической, нефтехимической и некоторых других отраслей промышленности оно достигает 90–96 %.

Рациональность использования воды, забираемой из источника, может быть охарактеризована коэффициентом ее использования:

$$K_{и} = \frac{W_{заб.ист.} - W_{сбр.}}{W_{заб.ист.}} \leq 1 , \quad (1.2)$$

где  $W_{сбр.}$  – количество сбрасываемых сточных вод.

$K_{и}$  должен быть как можно ближе к единице.

Процент безвозвратного потребления и потерь воды в системе оборотного водоснабжения от общего ее расхода можно определить по формуле:

$$P = \frac{W_{заб.ист.} - W_{сбр.}}{W_{заб.ист.} - W_{посл.}} \cdot 100\% , \quad (1.3)$$

где  $W_{посл.}$  – количество воды, используемой последовательно.

В среднем безвозвратные потери воды для промышленности страны составляют 2–5 %, для тепловых электростанций 1,2–2 %, для предприятий без теплоэлектростанций 3,6–5 %. Для отдельных производств значение показателя  $P$  колеблется от 0,5 до 30 % и более.

При обобщении материалов учета использования вод в некоторых случаях целесообразно вместо абсолютных числовых значений показателей водообеспечения применять коэффициенты, полученные на основании уравнений, характеризующих отношение различных элементов баланса к валовому водопотреблению.

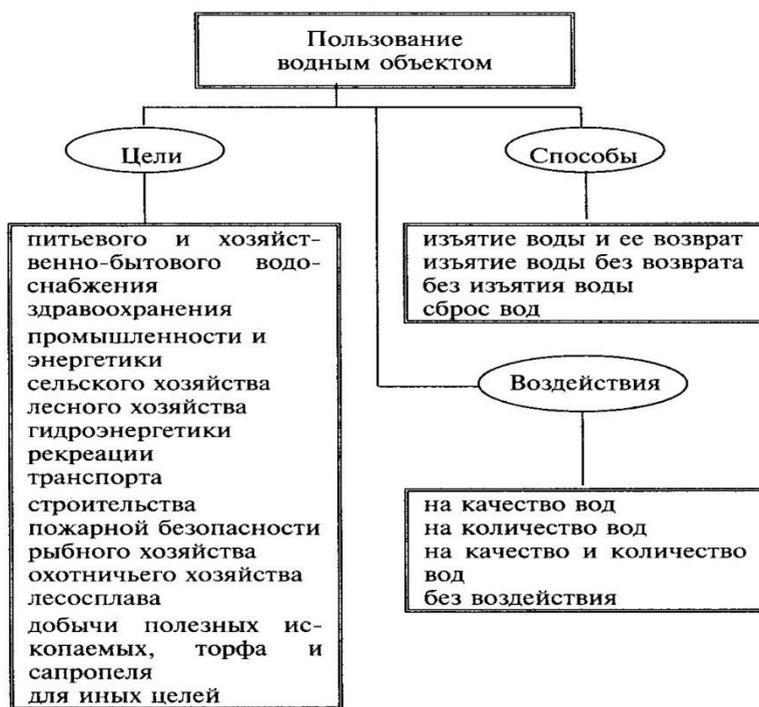


Рис. 3. Цели и способы использования водного объекта

Так, например, коэффициент водопотребления свежей воды, забранной из поверхностных водных объектов ( $K_{np}$ ), определяется из соотношения:

$$K_{np} = \frac{W_{np}}{Q_n} \quad (1.4)$$

Коэффициент потребления воды, забранной из подземных горизонтов  $K_{np}$ :

$$K_{np} = \frac{W_{np}}{Q_n}. \quad (1.5)$$

Коэффициент безвозвратного потребления и потерь  $K_n$ :

$$K_n = \frac{\Pi}{Q_n}. \quad (1.6)$$

Коэффициент внутренней рециркуляции (водопотребление систем повторного, последовательного и оборотного водоснабжения):

$$K_p = \frac{Q_p}{Q_n}. \quad (1.7)$$

Коэффициент повторного использования водных ресурсов гидрографического бассейна:

$$K_b = \frac{Q_b}{Q_n}, \quad (1.8)$$

где  $Q_b$  – водные ресурсы данного бассейна.

Расходы воды отдельными водопотребителями в несколько раз превышают забор свежей воды за счет внутренней рециркуляции. Это относится и к водохозяйственным комплексам в пределах одного или нескольких гидрографических бассейнов, где объем

потребления свежей воды в единицу времени в несколько раз больше объемов водных ресурсов в результате последовательного их использования. Так, например, возможно использование одной и той же воды из определенного водотока на гидроэлектростанции, для судоходства (шлюзование, поддержание лимитирующих глубин), в промышленности, для полей орошения и других водопотребителей, расположенных вдоль этого водотока. Такое многократное использование вод особенно эффективно в районах, где ощущается недостаток водных ресурсов.

Забор свежей воды промышленными предприятиями из водохозяйственных систем подлежит лимитированию. Лимиты забора свежей воды – это количество свежей воды (питьевой, технической), необходимое для водоснабжения промышленного предприятия, оно утверждается органами по регулированию использования и охране вод. Лимиты устанавливаются для промышленных предприятий, действующих на основе хозрасчета, имеющих самостоятельный баланс и расчетный счет в банке и вносящих плату за воду. Их утверждают с учетом производственной программы предприятий, норм водопотребления, мероприятий по снижению расхода воды, потерь воды при транспортировании, испарении, фильтрации и т. п. (в м<sup>3</sup> в единицу времени (год) на планируемый объем производства продукции).

Базой для расчета лимитов забора свежей воды является расчетный (плановый) объем водопотребления, определяемый на основе производственной программы и норм водопотребления с учетом мероприятий по снижению расхода воды. В лимиты забора свежей воды также включают потери воды при транспортировании на испарение, фильтрацию и т.п. и расход воды на нужды прочих потребителей, находящихся на балансе предприятия.

$$L = W_{p(n)} + W_{св} + Б + W_{кх}, \quad (1.9)$$

где  $L$  – лимит забора свежей воды промышленными предприятиями, м<sup>3</sup>/год;

$W_{p(n)}$  – расчетный (плановый) объем водопотребления, м<sup>3</sup>/год;

$W_{св}$  – объем воды, расходуемой прочими потребителями, не входящими на баланс предприятия, рассчитанный на основании норм и нормативов водопотребления, м<sup>3</sup>/год;

$B$  – потери воды при транспортировании ее предприятию, м<sup>3</sup>/год;

$W_{кх}$  – объем воды, забираемый из систем коммунального водоснабжения, м<sup>3</sup>/год.

$$W_{p(n)} = W_{т.св} + W_{в.св} + W_{х.св} - \text{Э}, \quad (1.10)$$

где  $W_{т.св}$ ,  $W_{в.св}$ ,  $W_{х.св}$  – расчетные объемы свежей воды, используемой на технологические нужды основного производства, во вспомогательном и подсобном производстве, а также на хозяйственно-питьевые нужды, м<sup>3</sup>/год;

$\text{Э}$  – планируемая экономия воды по этапам внедрения запланированных организационно-технических мероприятий, м<sup>3</sup>/год.

При прямоточной системе водоснабжения на технологические, вспомогательные и подсобные, а также хозяйственно-питьевые нужды идет свежая вода. Расчетные объемы свежей воды по направлениям использования при прямоточной системе водоснабжения определяются по вышеприведенной формуле.

Лимиты забора свежей воды для промышленных предприятий утверждают и контролируют органы по регулированию использования и охране вод. По мере изменения и совершенствования технологии производства продукции и систем водоснабжения и канализации, условий производства и проведения организационно-технических мероприятий по рациональному использованию водных ресурсов, а также в связи с изменением условий водопользования лимиты подлежат пересмотру и переутверждению.

## Задания для самостоятельного выполнения

### Задача 1.

Определите эффективность водопотребления промышленного объекта, используя данные таблицы 1. По результатам расчетов сделайте соответствующие выводы об эколого-экономической эффективности водопотребления на предприятии, путем сравнения полученных коэффициентов с мировыми достигнутыми результатами эффективности и принятыми нормами.

Таблица 1

### Исходные данные для решения задачи

Показатель, м <sup>3</sup> /сут	1	2	3
Объем забираемой воды из источника	200000	380000	150000
Мощность источника водоснабжения	143·10 <sup>12</sup>		
Объем оборотной воды на предприятии	100000		
Объем сбрасываемых сточных вод	80000	194000	30000
Объем последовательно используемый водных ресурсов	18000	70000	4000
Объем потерь воды при транспортировке потребителю	1000		
Объем безвозвратных потерь воды в технологических процессах предприятия	1000	15000	15000
Объем воды, потребляемой от других предприятий повторно	15000	10000	-
Объем воды, потребляемой из коммунальных сетей	20000	90000	10000

### Задача 2.

Оцените эффективность использования водных ресурсов на автомойке, если  $W_{\text{заб.}} = 50 \text{ м}^3/\text{сут.}$ , забор осуществляется один раз в 7 дней, сброс сточных вод осуществляется в городской коллектор один раз в 7 дней.  $W_{\text{об.}} = 49 \text{ м}^3/\text{сут.}$ ,  $W_{\text{сбр.}} = 43 \text{ м}^3/\text{сут.}$  При этом, для работы станции необходимо обеспечить  $W_{\text{мин}} = 40 \text{ м}^3/\text{сут.}$  Потери воды за 1 день работы в среднем за год составляют  $1 \text{ м}^3/\text{сут.}$

### **Контрольные вопросы**

1. Виды системы водоснабжения промышленных объектов.
2. Виды канализационных системы промышленных объектов.
3. Основные критерии оценки эффективности использования воды на предприятии.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2. РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕШЕТКИ

Цель работы:

- изучить основы проектирования устройств механической очистки сточных вод;
- обрести навыки расчета и проектирования устройств механической очистки сточных вод.

### Теоретическая часть

Для проектирования сооружений и аппаратов механической очистки должны быть заданы следующие данные:

- общее количество сточных вод  $q_w$ , м<sup>3</sup>/ч;
- температура сточных вод,  $T_w$ , °С;
- периодичность образования сточных вод;
- концентрация тяжелых механических примесей, мг/л;
- концентрация нефтепродуктов, масел, мг/л;
- плотность тяжелых и легких загрязнений, г/см<sup>3</sup>;
- кинетика осаждения механических примесей тяжелее и легче воды.

Кинетика отстаивания изображается экспериментальными кривыми, отражающими зависимость между временем отстаивания  $t$  и количеством выпавших за это время взвешенных веществ  $\Xi$  (%). На рис. 4 в качестве примера изображены кинетики отстаивания сточных вод прокатного производства при исходной концентрации загрязнений 200 мг/л.

- требуемая степень очистки  $\Xi$  (%) или допустимое содержание загрязнений легче и тяжелее воды, мг/л;
- скорость оседания («гидравлическая крупность») частиц тяжелее и легче воды, которые необходимо выделить для обеспечения требуемой степени очистки, мм/с.

Зависимость между высотой отстаивания и продолжительностью отстаивания выражается соотношением:

$$\frac{t_1}{t_2} = \left( \frac{h_1}{h_2} \right)^n \quad (2.1)$$

где  $t_1, t_2$  – продолжительность отстаивания в цилиндрах высотой  $h_1$  и  $h_2$  при одинаковом проценте выпадения взвеси.

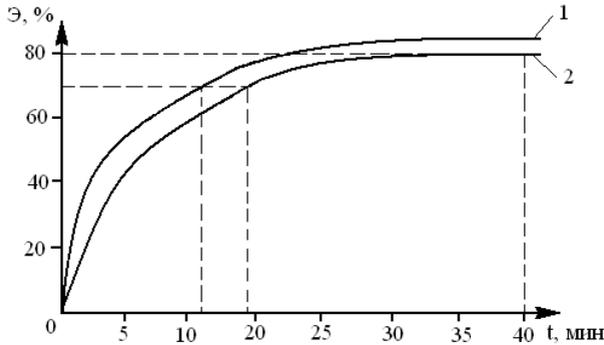


Рис. 4. Отстаивание сточных вод прокатного производства:  
1 – кривая при высоте отстаивания 200 мм; 2 – кривая при высоте отстаивания 500 мм

Показатель степени  $n$  зависит от природы загрязнений, в том числе и от *агломерируемости* взвесей (способности частиц укрупняться, объединяясь в группы).  $t_1, t_2, h_1, h_2$  известны из кинетик отстаивания (см. рис. 4), тогда:

$$n = \frac{(\lg t_2 - \lg t_1)}{(\lg h_2 - \lg h_1)} \quad (2.2)$$

Гидравлическая крупность частиц определяется по формуле:

$$w_0 = \frac{1000kH}{t_2 \left( \frac{kH}{h_2} \right)^n} \quad (2.3)$$

где  $k$  – коэффициент использования объема, зависящий от типа отстойника, который определяет гидравлическую эффективность отстойника и зависит от конструкции водораспределительных и водосборных устройств;

$H$  – высота отстаивания, мм.

При проектировании очистных установок, как правило, применяются типовые конструкции отстойников с известными геометрическими размерами (в том числе и  $H$ ). Поэтому за расчетную величину следует принимать производительность одного отстойника  $q_{set}$ , при которой обеспечивается заданный эффект очистки. После расчета  $q_{set}$ , исходя из общего расхода сточных вод, определяется количество рабочих единиц отстойников  $N$ :

$$N = \frac{q_w}{q_{set}}. \quad (2.4)$$

При расчете  $u_0$  необходимо учитывать поправку на изменение вязкости воды при изменении температуры. Тогда:

$$u_0^r = \frac{u_0}{\mu}, \quad (2.5)$$

где  $\mu$  – коэффициент вязкости воды (табл. 2).

Таблица 2

**Коэффициент вязкости воды в зависимости от температуры**

$t, ^\circ\text{C}$	60	50	40	30	25	20	15	12	10	5	0
$\mu$	0,45	0,55	0,65	0,80	0,90	1,00	1,14	1,23	1,30	1,50	1,80

К сооружениям механической очистки относятся решетки, отстойники, нефтеловушки, масло- и грязеприемники, центрифуги и др. Основная задача сооружений механической очистки – удаление крупных взвешенных частиц, мусора, масло- и нефтепродуктов,



Для того чтобы повысить эффективность работы решеток, их надо правильно спроектировать, т. е. определить конструктивные меры самих решеток и камер, в которых они устанавливаются. Общая ширина решетки при известном числе прозоров между стержнями решетки  $n$  определяется по формуле:

$$B = s(n - 1) + b \cdot n, \quad (2.6)$$

где  $s$  – толщина стержней;

$b$  – ширина прозоров между стержнями (рис. 6);

$l$  – длина стержней.

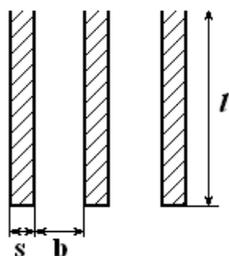


Рис. 6. Ширина прозоров между стержнями

Число прозоров  $n$  определяется следующим образом. Расход сточных вод через решетку равен произведению площади живого сечения потока на величину его скорости:

$$q = F_p v_p^H \quad (2.7)$$

$$F_p = lbn = \frac{H_1}{\sin \alpha} bn, \quad (2.8)$$

где  $v_p^H$  – нормальная составляющая скорости потока (рис. 4):

$$v_p^H = v_p \sin \alpha \quad (2.9)$$

Тогда  $q = H_1 b n v_p$ , откуда:

$$n = \frac{q}{b H_1 v_p} \quad (2.10)$$

Скорость потока  $v_p$  принимается не более 1 м/с, так как в противном случае загрязнения будут продавливаться через решетку.

Для учета стеснения потока граблями и задерживаемыми на решетке засорениями вводится коэффициент засорения  $k_3$ , т. е.  $n' = k_3 n$ . При механической очистке решетки  $k_3 = 1,05$ , а потока при ручной очистке  $k_3 = 1,1-1,2$ .

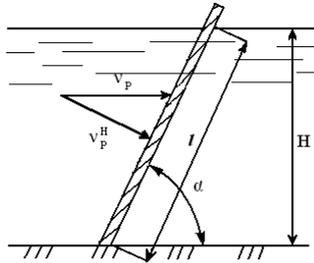


Рис. 7. Нормальная составляющая скорости потока

Уловленные на решетках загрязнения дробятся в дробилках, а затем их либо возвращают в воду перед решетками, либо с уплотненными активным илом транспортируют в метатенки для сбраживания. Последнее мероприятие сильно повышает эффективность работы песколовков, отстойников и других очистных сооружений.

*Центробежные очистители жидкости*, к которым относятся, например сепараторы, обладают высокой избирательной способностью к загрязнениям, отделяя от очищаемой жидкости примеси с большей плотностью. Например, с помощью таких очистителей можно отделить от воды ( $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ) механические примеси ( $\rho = 2500-3000 \text{ кг/м}^3$  и выше) или очистить масло ( $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$ ) от воды и загрязнений.

Принципиальная схема очистителя представлена на рис. 6.

Очищаемая жидкость подается под давлением через полую ось во вращающийся ротор, в котором она раскручивается до угловой скорости, близкой к скорости вращения ротора  $\omega$  (рад/с). Для лучшего раскручивания жидкости в сепараторах обычно предусматриваются закрепляемые на оси тарелки, лопатки и другие устройства.

При вращении разделяемой смеси грязевые частицы с повышенной плотностью отбрасываются под действие центробежных сил к стенкам ротора и осаждаются на них.

Поскольку на стенках ротора осаждаются и смолистые загрязняющие вещества, твердые частицы загрязнений связываются этими веществами, образуя на стенках ротора плотную корку, поэтому периодически подача смеси в ротор перекрывается и для смытия этой корки под давлением подается нагретая умягченная вода.

При заполнении ротора осадком радиальная скорость жидкости уменьшается, а осевая возрастает, и возможность уноса частиц со стенок потоком жидкости повышается. Поэтому работа очистителя без промывки ротора допустима приблизительно до 25 % заполнения его емкости осадком. Из этого условия можно определить периодичность промывки ротора.

Иногда загрязнения отводятся со стенок ротора непрерывно, через специальные сопла.

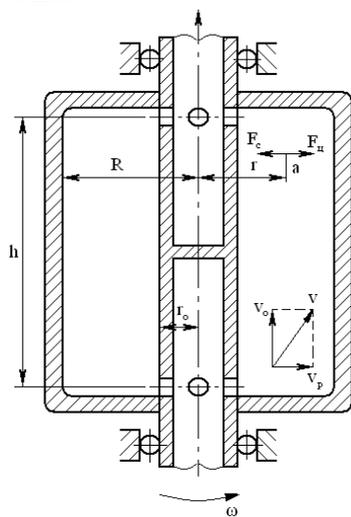


Рис. 8. Центробежный очиститель жидкости

## Методические указания

Пример: требуется рассчитать одиночную решетку с механической очисткой, устанавливаемую в водоем с глубиной  $H_1 = 1,2$  м. Расход сточных вод  $2,5 \cdot 10^6$  л/ч.

Порядок расчета:

1) выбирается ширина прозоров между прутьями  $b > b_{min} = 16$  мм при установке одной решетки. Пусть  $b = 20$  мм.

2) скорость потока  $v_p$  принимается равной  $0,8$  м/с, т. е. меньше  $v_{p\ max} = 1$  м/с.

3) расход сточных вод через решетку  $q$  переводится из литров в час в кубический метр на секунду:

$$1 \frac{\text{л}}{\text{ч}} = \frac{1 \text{ дд}^3}{3600 \text{ с}} = \frac{0,1^3 \text{ м}^3}{3600 \text{ с}} = \frac{1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3}{3600 \text{ с}} = 2,78 \cdot 10^{-7} \frac{\text{м}^3}{\text{с}},$$

Тогда:

$$q = 2,5 \cdot 10^6 \left[ \frac{\text{л}}{\text{ч}} \right] = 2,78 \cdot 10^{-7} \cdot 2,5 \cdot 10^6 = 0,695 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

4) определяется число прозоров между прутьями решетки по формуле:

$$n = \frac{q}{bH_1v_p} = \frac{0,695}{20 \cdot 10^{-3} \cdot 1,2 \cdot 0,8} = 36.$$

Вводится коэффициент  $k_3 = 1,05$ . Тогда  $n' = 1,05 \cdot 36 = 38$ .

5) толщина стержней принимается:  $s = b = 20$  мм.

6) общая ширина решетки:

$$B = s(n - 1) + b \cdot n = 20 \cdot 10^{-3} \cdot 37 + 20 \cdot 10^{-3} \cdot 38 = 1,5 \text{ м}.$$

7) полезная длина стержней решетки:

$$l = \frac{H_1}{\sin \alpha} = \frac{1,2}{\sin 60} = 1,4 \text{ м.}$$

Над решеткой необходимо предусмотреть лоток для сбора загрязнений, счищаемых механическими граблями. Поэтому стержни решетки должны выступать над поверхностью воды на величину  $\Delta l$ .  $\Delta l$  принимается равной 0,5 м. Тогда длина стержней будет равна  $l' = l + \Delta l = 1,9$  м.

*Определение расчетной гидравлической крупности* частиц производится в следующем порядке.

1. По заданным величинам концентраций тяжелых механических примесей в исходной и осветленной воде определяется требуемый эффект очистки  $\mathcal{E}_{\text{тр}}$ :

$$\mathcal{E}_{\text{тр}} = \frac{\text{исх.конц.т.ж.мех.при м.} - \text{конц.тяж.м.ех.при.в.осв.воде}}{\text{исх.конц.т.ж.мех.при м.}} 100\% \quad (2.11)$$

2. По кривым кинетики отстаивания (см. рис. 1) определяется продолжительность отстаивания ( $t_1$ ,  $t_2$  (в секундах)), при которой в слоях воды  $h_1 = 200$  мм и  $h_2 = 500$  мм достигается требуемый эффект очистки.

3. После этого определяется показатель степени  $n$  по формуле:

$$n = \frac{\lg t_2 - \lg t_1}{\lg h_2 - \lg h_1}, \quad (2.12)$$

4. Затем по формуле:

$$i_0 = \frac{1000kH}{t_2 \left( \frac{kH}{h_2} \right)^n}, \quad (2.13)$$

определяется гидравлическая крупность частиц взвесей (при этом для горизонтального отстойника ( $k$  по табл. 3)).

Таблица 3

**Гидравлическая крупность частиц взвесей  
(для горизонтального отстойника)**

Отстойник	Коэфф. использ. объема (к)	Рабочая глубина (Н), м	Ширина (В), м	Скорость рабочего потока (v), мм/с	Уклон днища к иловому прямку, ‰
Горизонтальный	0,50	1,5–4,0	$(2-5)H$	5–10	0,005–0,05
Радиальный	0,45	1,5–5,0	-	5–10	0,005–0,05
Вертикальный	0,35	2,7–3,8	-	-	-
С вращающимся сборно-распределительным устройством	0,85	0,8–1,2	-	-	0,05
С нисходяще-восходящим потоком	0,65	2,7–3,8	-	$2u_0 - 3u_0$	-

Рассчитывается гидравлическая крупность частиц с учетом поправки на изменение вязкости воды при изменении температуры.

**Задания для самостоятельного выполнения**

Задача 1.

Рассчитать одиночную решетку с механической очисткой, ус-танавливаемую в водоем, исходя из данных табл. 4.

Таблица 4

**Данные для решения задачи**

№ варианта	$H_1$ , м	$q$ , л/ч
1	1,8	$3,2 \cdot 10^6$
2	1,6	$2,8 \cdot 10^6$
3	1,4	$2,6 \cdot 10^6$

Задача 2.

Требуется определить гидравлическую крупность частиц для проектирования отстойника при очистке сточных вод прокатного производства. Исходные данные представлены в табл. 5. Кинетики отстаивания механических примесей тяжелее воды показаны на рис. 1.

Таблица 5

**Исходные данные для решения задачи**

<b>№ варианта</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Расход сточных вод $q_w$ , м <sup>3</sup> /ч	1000	1000	1000
Температура сточных вод $T_w$ , °С	30	25	40
Исходная концентрация тяжелых механических примесей, мг/л	200	180	170
В очищенной воде содержание тяжелых примесей не должно превышать, мг/л	60	65	55
Рабочая глубина отстаивания $H$ , м	1,5	1,5	1,5

## Задача 3.

Для очистки сточных вод требуется рассчитать отстойник с вращающимся сборно-распределительным устройством, который должен обеспечить 60-процентное задержание механических загрязнений. Состав и расход сточных вод такой же, как в задаче 2. Исходные данные представлены в табл. 6.

Таблица 6

**Исходные данные для решения задачи**

<b>Показатель</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Расчетная температура воды, °С	20	30	25
Диаметр отстойника $D$ , м	24	20	22
Высота отстаивания (глубина лотковой зоны) отстойника $H$ , м	1,0	0,8	0,9
Зазор между лотком и стенкой отстойника $b_3$ , м	0,15	0,15	0,15
$m$	1/12	1/11	1/12
Радиус закручивания лопаток $gl$ , м	0,125	0,125	0,125

## Задача 4.

Необходимо рассчитать минимальную длину зоны осаждения центробежного очистителя, предназначенного для отделения грязевых частиц с минимальным диаметром  $d = 45$  мкм от масла ОМТИ-30, исходя из данных табл. 7.

Таблица 7

**Исходные данные для решения задачи**

<b>№ вар.</b>	<b><math>P_{ж}</math>, кг/м<sup>3</sup></b>	<b><math>Q</math>, м<sup>3</sup>/с</b>	<b><math>\rho_3</math>, кг/м<sup>3</sup></b>	<b><math>\mu</math>, кг/с · м</b>	<b><math>n</math>, об/мин</b>	<b><math>S</math>, м<sup>2</sup></b>	<b><math>R</math>, м</b>	<b><math>g_0</math>, м</b>
1	900	$7,0 \cdot 10^{-4}$	2500	0,027	3000	0,07	0,15	0,015
2	800	$6,8 \cdot 10^{-4}$	2300	0,024	3000	0,07	0,15	0,015
3	700	$6,5 \cdot 10^{-4}$	2100	0,021	3000	0,07	0,15	0,015

**Контрольные вопросы**

1. Для чего служат решетки?
2. Для чего используются отстойники с вращающимся сборно-распределительным устройством?
3. Принцип работы центробежного очистителя жидкости.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3. РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЕСКОЛОВКИ

Цель работы:

- изучить виды и принципы работы песколовок;
- изучить и освоить методику расчета конструкционных параметров песколовок.

### Теоретическая часть

Содержащиеся в сточной воде нерастворимые вещества (например, песок, шлак, стеклянная крошка и др.) крупностью 0,15–0,25 мм могут накапливаться в отстойниках, метантенках, снижая тем самым производительность этих сооружений. Осадок, содержащий песок, плохо транспортируется по трубопроводам.

Для предварительного выделения из сточных вод нерастворенных минеральных примесей (песка, шлака, боя стекла и др.) под действием силы тяжести применяются песколовки. Песколовки предусматриваются в составе очистных сооружений при производительности свыше 1,00 м<sup>3</sup>/сут. Количество песколовок или отделений должно быть не менее двух, причем все – рабочие.

По направлению движения воды песколовки подразделяются на *горизонтальные, вертикальные* и с *вращательным движением жидкости*; последние подразделяются на *тангенциальные* и *аэрируемые*.

При объеме улавливаемого осадка до 0,1 м<sup>3</sup>/сут допускается удалять осадок вручную, при большем объеме выгрузка осадка механизмуется.

**Горизонтальные песколовки.** Представляют собой удлиненные в плане сооружения с прямоугольным поперечным сечением (рис. 9). Важнейшими элементами песколовки являются: входной и выходной каналы; бункер для сбора осадка, располагаемый в начале песколовки. Кроме этого, в песколовке имеются механизм для перемещения осадка в бункер и гидроэлеватор для удаления

песка. Механизмы применяются двух типов: цепные и тележечные. Цепные механизмы состоят их двух бесконечных цепей, расположенных по краям песколовки, с закрепленными на них скребками (рис. 7). Механизмы тележечного типа состоят из тележки, перемещаемой над песколовкой по рельсам вперед и назад, на которой подвешивается скребок.

Кроме механизмов, для перемещения осадка применяются гидромеханические системы, которые представляют собой смывные трубопроводы со sprысками, уложенными вдоль днища в лотках.

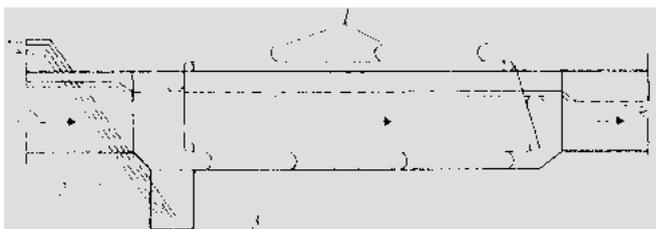


Рис. 9. Горизонтальная песколовка

1 – цепной скребковый механизм; 2 – гидроэлеватор; 3 – бункер

Разновидностью этого типа песколовок является песколовка с *круговым движением жидкости*. Она представляет собой круглый резервуар конической формы с периферийным лотком для протекания сточной воды (рис. 10). Весь улавливаемый осадок проваливается через щель в осадочную часть. Для выгрузки осадка достаточно гидроэлеватора.

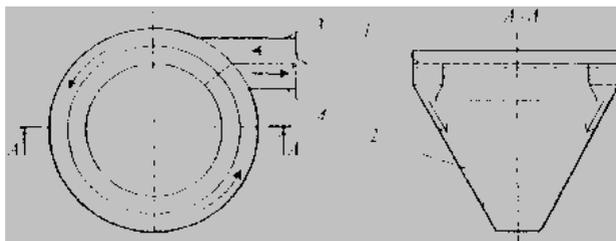


Рис. 10. Горизонтальная песколовка с круговым движением воды

1 – кольцевой желоб; 2 – осадочный конус; 3 – подводящий канал;  
4 – отводящий канал

Оптимальная скорость движения воды в горизонтальных песколовках  $v = 0,15-0,3$  м/с, гидравлическая крупность задерживаемого песка  $u_0 = 18-24$  мм/с.

Горизонтальные песколовки применяют при расходах стоков свыше  $10000$  м<sup>3</sup>/сут, а горизонтальные песколовки с круговым движением – до  $70000$  м<sup>3</sup>/сут.

**Вертикальные песколовки.** Используются в полураздельных системах и на станциях очистки поверхностных вод, поскольку они удобны для накопления большого количества осадка. Максимальный расход сточных вод для вертикальных песколовков составляет  $10000$  м<sup>3</sup>/сут.

Песколовки имеют цилиндрическую форму с подводом воды по касательной с двух сторон, а отводом – кольцевым лотком (рис. 11).

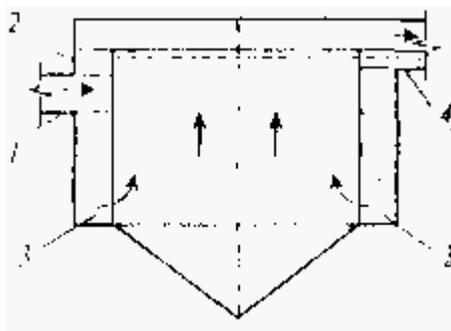


Рис. 11. Вертикальная песколовка с вращательным движением:  
1 – подводный канал; 2 – сборный кольцевой лоток; 3 – ввод воды в рабочую зону; 4 – отводящий канал

Недостаток этих песколовков заключается в большой продолжительности пребывания воды в сооружении. Расчет песколовков производится, исходя из условия, что скорость восходящего потока жидкости меньше гидравлической крупности песчинок улавливаемого песка, т. е.  $v < u_0$ . Гидравлическая крупность песка такая же, как у горизонтальных песколовков.

**Тангенциальные песколовки.** Они имеют круглую в плане форму и касательный подвод воды, который обеспечивает винтообразное движение жидкости по касательной к стенкам песколовки (рис. 12). На периферии вода движется вниз, а в центре – вверх.

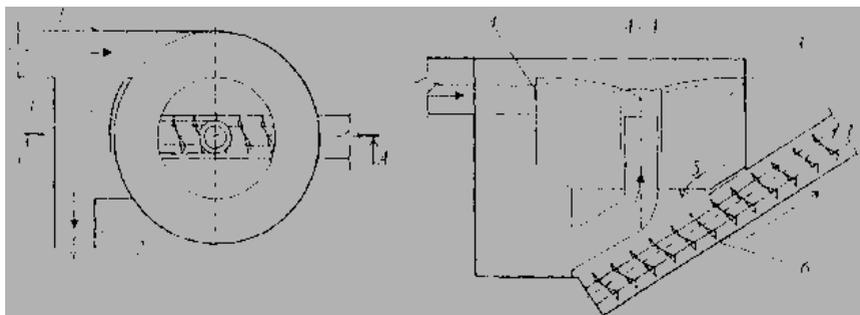


Рис. 12. Тангенциальная песколовка с вихревой водяной воронкой:  
1 – подводящий канал; 2 – отводящий канал; 3 – рабочая часть;  
4 – регулируемый водослив; 5 – песок; 6 – шнековый подъемник

Область применения тангенциальных песколовок – при расходах сточных вод до  $75000 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

**Аэрируемые песколовки.** Имеют удлиненную форму в плане и прямоугольное, полигональное или близкое к эллиптическому поперечное сечение (рис. 13).

Вдоль одной из стенок песколовки прокладывается аэратор из дырчатых труб на глубине  $2/3$  от общей глубины. Благодаря этому поток приобретает вращательное движение с перемещением его у дна от одной стенки к другой. Суммирование поступательного и вращательного движений приводит к винтовому движению воды вдоль песколовки. Продольная скорость составляет  $0,05-0,10 \text{ м/с}$ , вращательная скорость –  $0,3 \text{ м/с}$ . Аэрируемые песколовки используются при расходах свыше  $20000 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

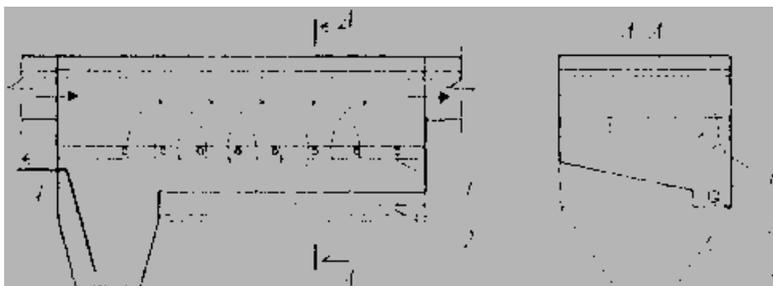


Рис. 13. Аэрируемая песколовка: 1 – дырчатый аэратор; 2 – трубопровод гидросмыва осадка; 3 – осадочная часть; 4 – гидроэлеватор

К достоинствам этой песколовки относится устойчивость работы при изменениях расхода и хорошая отмывка песка от органики.

Аэрируемые песколовки одновременно могут использоваться для улавливания всплывающих загрязнений (жиров, нефтепродуктов и др.). Для этого вдоль всей песколовки полупогружной перегородкой отделяется специальная зона для выделения и накопления всплывающих загрязнений.

**Бункеры и площадки для обезвоживания песка.** Количество песка, задерживаемого в песколовках, для бытовых сточных вод равно 0,02 л/(сут·чел), влажность песка составляет 60 %, объемный вес – 1,5 т/м<sup>3</sup>.

Откачка накопленного в бункерах песколовки осадка производится песковыми насосами, гидроэлеваторами, шнековыми подъемниками и реже эрлифтами. Откаченный садок (*пескопульпа*) имеет большую влажность – 98–99 %, что вызывает необходимость его обезвоживания.

Для обезвоживания и подсушивания осадка на больших станциях очистки сточных вод предусматривают *песковые площадки*, представляющие собой карты с ограждающими валиками высотой 1–2 м, оборудованные шахтными водосбросами для отвода отстоявшейся воды (рис. 14). Удаляемая вода направляется в начало сооружений. Размеры площадок принимаются из условия нагрузки на них не более 3 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год). Количество площадок – не менее двух.

Более рациональный метод обработки осадка из песколовков – отмывка, обезвоживание и подсушка песка с последующим использованием его в строительстве. Для этого можно использовать специальные песковые бункеры, приспособленные для последующей погрузки песка в автотранспорт (рис. 15).

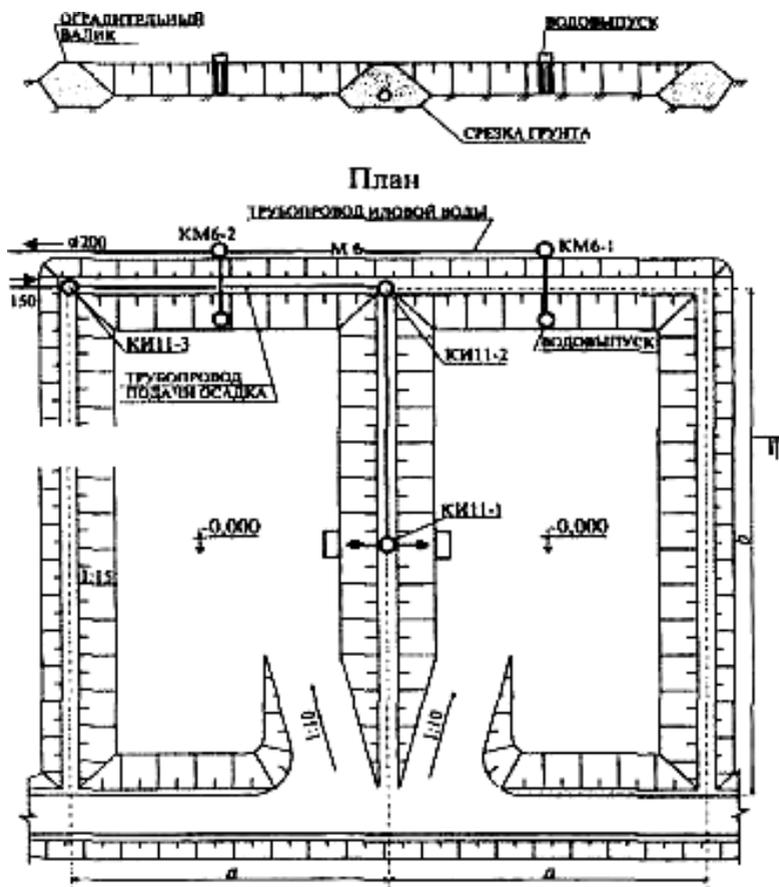


Рис. 14. Площадки на естественном основании без дренажа с поверхностным удалением иловой воды

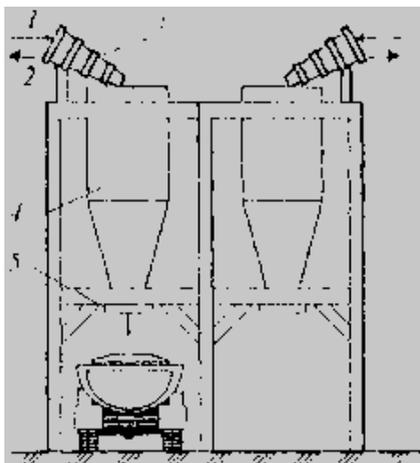


Рис. 15 Песковой бункер

Такие бункеры рассчитываются на 1,5–5 суточное хранение песка. Для повышения эффективности отмывки песка применяют напорные гидроциклоны диаметром 300 мм. Дренажная вода из бункеров и площадок возвращается в канал перед песколовками.

### Методические указания

#### Расчет песколовок, бункеров и площадок для обезвоживания песка

##### Песколовки

По рис. 16 в зависимости от расхода сточных вод выбирается тип песколовок.

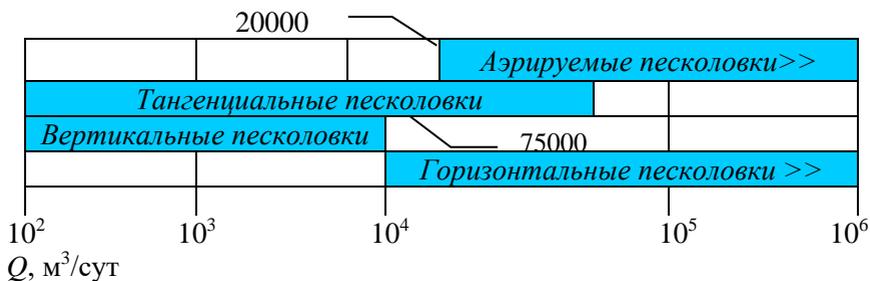


Рис. 16. Область применения различных типов песколовок

## ***1. Горизонтальные песколовки с прямолинейным движением воды***

1. Назначается количество отделений песколовок  $n$  (не менее двух), исходя из расхода на одно отделение не более 40–50 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

2. Определяется необходимая площадь живого сечения одного отделения песколовки  $\omega$ :

$$\omega = \frac{q_{max}}{n \cdot v_s}, \text{ м}^2, \quad (3.1)$$

где  $q_{max}$  – максимальный секундный расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с;  
 $v_s$  – скорость течения воды, м/с (табл. 1 приложений).

3. Рассчитывается длина песколовки  $L_s$ :

$$L_s = 1000K_s H_s v_s / u_0, \text{ м}, \quad (3.2)$$

где  $K_s$  – коэффициент, принимаемый по табл. 2;

$H_s$  – расчетная глубина песколовки, м (табл. 1 Прил.),

$u_0$  – гидравлическая крупность песка, мм/с (табл. 2 Прил.).

4. Рассчитывается ширина одного отделения песколовки  $B$ :

$$B = \omega / H_s, \text{ м}. \quad (3.3)$$

Полученная ширина  $B$  округляется до ближайшего целого значения.

5. По рассчитанной ширине и длине принимается типовая песколовка или проектируется индивидуально. В табл. 12 Приложений приведены основные типоразмеры горизонтальных песколовок.

6. Определяется скорость течения сточных вод в песколовке при максимальном ( $v_{max}$ ) и минимальном ( $v_{min}$ ) притоке:

$$v_{max}[v_{min}] = \frac{q_{max}[q_{min}]}{B \cdot n \cdot H_s}, \text{ м/с} \quad (3.4)$$

где  $q_{min}$  – минимальный секундный расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с.

Полученные скорости должны находиться в пределах 0,15–0,3 м/с.

Таблица 9

### Параметры различных типов песколовков

Песколовка	Гидравлическая крупность песка ( $u_0$ ), мм/с	Скорость движения сточных вод ( $v_s$ ), м/с, при притоке		Глубина ( $H_s$ ), м	Кол-во задерживаемого песка, л/сут·чел	Влажность песка, %	Содержание песка в осадке, %
		min	max				
Горизонтальная	18,7-24,2	0,15	0,30	0,5-2,0	0,02	60	55-60
Аэрируемая	13,2-18,7	-	0,08-0,12	0,7-3,5	0,03	-	90-95
Тангенциальная	18,7-24,2	-	-	0,5	0,02	60	70-75

Таблица 10

### Параметры к расчету песколовков

Диаметр задерживаемых частиц песка, мм	Гидравлическая крупность песка ( $u_0$ ), мм/с	Значение $K_s$ в зависимости от типа песколовков и отношения ширины ( $B$ ) к глубине ( $H$ ) аэрируемых песколовков			
		горизонтальные	аэрируемые		
			$B:H = 1$	$B:H = 1,25$	$B:H = 1,5$
0,15	13,2	-	2,62	2,50	2,39
0,20	18,7	1,7	2,43	2,25	2,08
0,25	24,2	1,3	-	-	-

Таблица 11

### Основные показатели типовых аэрируемых песколовков

Номер типового проекта 902-2-....	Пропускная способность, тыс. м <sup>3</sup> /сут	Число отделений	Размеры отделения, м			Отношение В/Н	Расход воздуха на аэрацию, м <sup>3</sup> /ч, при интенсивности 3 м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·ч)
			ширина ( $B$ )	глубина ( $H$ )	длина ( $L$ )		
-	70	2	3,0	2,1	12	1,34	200
...284	100	3	3,0	2,1	12	1,34	300
-	140	2	4,5	2,8	18	1,50	460
...286	200	3	4,5	2,8	18	1,50	690
...287	280	4	4,5	2,8	18	1,50	920

**Основные типоразмеры горизонтальных песколовков**

Показатели	Пропускная способность очистной станции, тыс. м <sup>3</sup> /сут				
	70	100	140	200	280
Расчетный расход, м <sup>3</sup> /с	0,97	1,36	1,87	2,68	3,76
Число отделений	2	3	4	3	4
Размеры отделения: - сечение, м <sup>2</sup>	1,62	1,54	3,02	2,9	3,02
- длина, м, (при гидравлической крупности частиц 18,7 мм/с)	15,8	15,4	18,2	17,7	18,2
- длина, м, (при гидравлической крупности частиц 24,2 мм/с)	13,0	12,4	16,3	15,6	16,3
глубина, м	0,58	0,55	0,67	0,65	0,67
ширина, м	3,0	3,0	3,0	4,5	4,5

7. Рассчитывается продолжительность протекания сточных вод в песколовке  $T$  при максимальном притоке:

$$T = L_s / v_{max}, \text{ с.} \quad (3.5)$$

Продолжительность протока  $T$  должна быть не менее 30 с.

8. Находится суточный объем осадка, накапливаемого в песколовках  $w_{cym}$ :

$$w_{cym} = N_{np} q_{oc} / 1000, \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (3.6)$$

где  $q_{oc}$  – удельное количество песка, л/(сут·чел), принимается по табл. 1 Приложений;

$N_{np}$  – приведенное население, чел.

9. Рассчитывается объем бункера одного отделения песколовки  $W$ :

$$W = w_{cym} T_{oc} / n, \text{ м}^3, \quad (3.7)$$

где  $T_{oc}$  – интервал времени между выгрузками осадка из песколовки, сут, (не более двух суток).

10. Рассчитывается глубина бункера песколовки  $h_{\delta}$ :

$$h_{\delta} = W/B^2, \text{ м.} \quad (3.8)$$

11. Определяется высота слоя осадка на дне песколовки  $h_{oc}$ :

$$h_{oc} = \frac{K_n W_{cym}}{B \cdot n \cdot L_s}, \text{ м.} \quad (3.9)$$

где  $K_n$  – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения осадка по площади, равный 3.

12. Рассчитывается полная строительная высота песколовки  $H_{cmp}$ :

$$H_{cmp} = H_s + h_{oc} + 0,5, \text{ м.} \quad (3.10)$$

### ***II. Горизонтальные песколовки с круговым движением воды***

1. Назначается количество отделений песколовки  $n$  (не менее двух), исходя из расхода на одно отделение не более 15–20 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

2. По формуле определяется необходимая площадь живого сечения одного отделения песколовки  $\omega$ .

3. По формуле рассчитывается длина окружности песколовки по средней линии  $L_s$ .

4. Определяется средний диаметр песколовки  $D_0$ :

$$D_0 = L_s/\pi, \text{ м.} \quad (3.11)$$

5. Рассчитывается продолжительность протекания сточных вод в песколовке  $T$  при максимальном притоке:

$$T = \pi D_0 / v_s, \text{ с.} \quad (3.12)$$

Продолжительность протока  $T$  должна быть не менее 30 с.

6. По табл. 13 Приложений в зависимости от пропускной способности принимается ширина кольцевого желоба песколовки  $B_{жс}$ .

Таблица 13

**Основные показатели горизонтальных песколовок с круговым движением воды (типовой проект №902-2-27)**

Пропускная способность		Основные размеры, мм			
м <sup>3</sup> /сут	л/с	диаметр	расстояние между центрами отделений	ширина кольцевого желоба	ширина лотков впуска и выпуска воды
1400-2700	31-56	4000	6000	500	200
2700-4200	56-83				250
4200-7000	83-133		6500	800	300
7000-10000	133-183				350
10000-17000	183-278	6000	10000	1000	600
17000-25000	278-394			1400	900
25000-40000	394-590		11000	1500	900
40000-64000	590-920			1800	900

7. Определяется наружный диаметр песколовки  $D$ :

$$D = D_0 + B_{жс}, \text{ м.} \quad (3.13)$$

8. По рассчитанному диаметру принимается типовая песколовка или проектируется индивидуально.

9. По формулам рассчитывается объем бункера одного отделения песколовки  $W$ .

10. Определяется высота бункера (конической части) песколовки  $h_k$ :

$$h_k = \frac{12W}{\pi(D_0^2 + d^2 + D_0d)}, \text{ м,} \quad (3.14)$$

где  $d$  – диаметр нижнего основания бункера, равный 0,4 м.

11. Рассчитывается полная строительная высота песколовки  $H_{стр}$ :

$$H_{стр} = H_s + h_k + 0,5, \text{ м.} \quad (3.15)$$

### III. Тангенциальные песколовки

1. Назначается количество отделений песколовок  $n$  (не менее двух), исходя из расхода на одно отделение не более 15 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

2. Определяется площадь каждого отделения песколовки  $F$ :

$$F = \frac{3600q_{max}}{n \cdot q_0}, \text{ м}^2, \quad (3.16)$$

где  $q_{max}$  – максимальный секундный расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с;  
 $q_0$  – нагрузка на песколовку по воде при максимальном притоке, равная 90–130 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч).

3. Рассчитывается диаметр каждого отделения  $D$ :

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}, \text{ м.} \quad (3.17)$$

Диаметр песколовки должен быть не более 6 м.

4. Рассчитываются глубина  $h_1$  и высота бункера (конусной части) песколовки  $h_2$ :

$$h_1 = D/2, \text{ м;} \quad (3.18)$$

$$h_2 = \sqrt{D^2 - h_1^2}, \text{ м.} \quad (3.19)$$

5. По формуле находится суточный объем осадка, накапливаемого в песколовках  $w_{сут}$ .

6. Рассчитывается период между выгрузками осадка из песколовок  $T_{oc}$ :

$$T_{oc} = \frac{n \cdot \pi \cdot D^2 \cdot h_2}{12w_{сут}}, \text{ сут.} \quad (3.20)$$

7. Рассчитывается полная строительная высота песколовки  $H_{cmp}$ :

$$H_{cmp} = h_1 + h_2 + 0,5, \text{ м.} \quad (3.21)$$

#### **IV. Вертикальные песколовки**

1. Назначается количество отделений песколовок  $n$  (не менее двух), исходя из расхода на одно отделение не более 10–15 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

2. По формуле определяется площадь каждого отделения песколовки  $F$ , при нагрузке по воде при максимальном притоке  $q_0$ , равной 70–130 м<sup>3</sup>/(м·ч);

3. По формуле рассчитывается диаметр каждого отделения  $D$ .

4. Рассчитываются глубина песколовки  $h_1$  и высота бункера (конусной части) песколовки  $h_2$ :

$$h_1 = tv/1000, \text{ м;} \quad (3.22)$$

$$h_2 = D \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}, \text{ м.} \quad (3.23)$$

где  $t$  – продолжительность пребывания воды в песколовке, равная 120–180 с;

$v$  – скорость восходящего потока воды в песколовке, равная гидравлической крупности песка  $u_0$ , мм/с (табл. 2 Приложений).

5. По формуле находится суточный объем осадка, накапливаемого в песколовках  $w_{сут}$ .

6. По формуле рассчитывается период между выгрузками осадка из песколовок  $T_{oc}$ .

7. По формуле рассчитывается полная строительная высота песколовки  $H_{cmp}$ .

## V. Аэрируемые песколовки

1. Назначается количество отделений песколовки  $n$  (не менее двух), исходя из расхода на одно отделение не более 40–60 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

2. По формуле определяется необходимая площадь живого сечения одного отделения песколовки  $\omega$ .

3. Принимается соотношение ширины  $B$  и глубины  $H$  песколовки  $\alpha$  (в пределах 1–1,5) и определяются сами значения глубины и ширины:

$$H = \sqrt{\frac{\omega}{\alpha}}, \text{ м}; \quad B = \alpha H, \text{ м}. \quad (3.24)$$

4. Полученная ширина  $B$  округляется до ближайшего целого значения.

5. Рассчитывается длина песколовки  $L_s$ :

$$L_s = \frac{1000K_s H_s v_s}{u_0}, \text{ м}, \quad (3.25)$$

где  $K_s$  – коэффициент, принимаемый по табл. 3.2;

$H_s$  – расчетная глубина песколовки, м, равная  $H/2$ ;

$u_0$  – гидравлическая крупность песка, мм/с (табл. 2 Прил.).

6. По рассчитанной ширине и длине принимается типовая песколовка или проектируется индивидуально. В табл. 3 Приложений приведены основные показатели аэрируемых песколовки.

7. По формуле находится суточный объем осадка, накапливаемого в песколовках  $w_{сут}$ .

8. По формулам рассчитываются объем бункера сбора осадка одного отделения песколовки  $W$  и глубина бункера  $h_b$ .

9. Определяется расход промывной воды при гидромеханическом удалении песка  $q_h$ :

$$q_h = v_h l_{sc} b_{sc}, \text{ л/с} \quad (3.26)$$

где  $v_h$  – восходящая скорость смывной воды в лотке, принимаемая равной 0,0065 м/с;

$l_{sc}$  – длина пескового лотка, равная длине песколовки за вычетом длины пескового приямка (бункера):

$$l_{sc} \approx L_{sc} - B, \text{ м}; \quad (3.27)$$

$b_{sc}$  – ширина пескового лотка, равная 0,5 м.

10. Определяется напор в начале смывного трубопровода  $H_0$ :

$$H_0 = 5,4h_0 + 5,4 \frac{v_{mp}^2}{2g}, \text{ м}, \quad (3.28)$$

где  $h_0$  – максимальная высота слоя песка о начале пескового лотка, равная 0,2÷0,5 м;

$v_{mp}$  – скорость воды в начале смывного трубопровода, равная 3 м/с.

11. Рассчитывается общий расход воздуха для аэрирования песколовки  $Q_{air}$ :

$$Q_{air} = J_a B L n, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (3.29)$$

где  $J_a$  – интенсивность аэрации, равная 3÷5 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч).

### **Песковые площадки**

1. Определяется годовой объем песка, задерживаемого в песколовках:

$$W_{год} = 365 N_{np} q_{oc} / 1000, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (3.30)$$

где  $q_{oc}$  – удельное количество песка, принимаемое по табл. 1 Приложений в зависимости от типа песколовки;  $N_{np}$  – приведенное население, чел.

2. Рассчитывается рабочая площадь песковых площадок  $S_p$ :

$$S_p = W_{год} / h_{год}, \text{ м}^2, \quad (3.31)$$

где  $h_{год}$  – годовая нагрузка на площадки, равная не более 3 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год).

3. Находится общая площадь песковых площадок  $S_{общ}$ :

$$S_{общ} = (1,2 \dots 1,3) S_p, \text{ м}^2. \quad (3.32)$$

### Песковые бункеры

1. По формуле (3.6) находится суточный объем осадка, накапливаемого в песколовках  $w_{сут}$ .

2. Определяется необходимый объем бункеров  $W_b$ :

$$W_b = w_{сут} T, \text{ м}^3, \quad (3.33)$$

где  $T$  – продолжительность хранения песка в бункерах, равная 1,5–5 сут.

3. Рассчитывается объем одного бункера  $W_1$ :

$$W_1 = \frac{\pi}{4} \left[ D^3 + \frac{D}{3} (D^2 + D + 1) \right], \text{ м}^3, \quad (3.34)$$

где  $D$  – диаметр бункера, равный 1,5–2 м.

4. Находится количество бункеров  $n_b$ :

$$n_b = W_b / W_1. \quad (3.35)$$

Количество бункеров должно быть не менее двух.

### Задания для самостоятельного выполнения

Задача 1.

*Исходные данные.* Суточный расход сточной воды  $Q = 75000$  м<sup>3</sup>/сут; максимальный секундный расход  $q_{max} = 1,41$  м<sup>3</sup>/с; минимальный секундный расход  $q_{min} = 0,72$  м<sup>3</sup>/с; норма водоотведения составляет  $a = 250$  л/(сут·чел).

*Задание.* Рассчитать горизонтальные песколовки с прямолинейным движением воды.

Задача 2.

*Исходные данные.* Суточный расход сточной воды  $Q = 25000$  м<sup>3</sup>/сут; максимальный секундный расход  $q_{max} = 0,45$  м<sup>3</sup>/с; норма водоотведения составляет  $a = 170$  л/(сут·чел).

*Задание.* Рассчитать горизонтальные песколовки с круговым движением воды.

Задача 3.

*Исходные данные.* Суточный расход сточной воды  $Q = 14000$  м<sup>3</sup>/сут; максимальный секундный расход  $q_{max} = 0,28$  м<sup>3</sup>/с; норма водоотведения составляет  $a = 190$  л/(сут·чел).

*Задание.* Рассчитать тангенциальные песколовки.

Задача 4.

*Исходные данные.* Суточный расход сточной воды равен  $Q = 157000$  м<sup>3</sup>/сут; максимальный секундный расход  $q_{max} = 2,65$  м<sup>3</sup>/с; норма водоотведения составляет  $a = 250$  л/(сут·чел).

*Задание.* Рассчитать аэрируемые песколовки.

Задача 5.

*Исходные данные.* Суточный расход сточной воды на очистной станции составляет  $Q = 11000$  м<sup>3</sup>/сут; тип песколовок – горизонтальные; норма водоотведения равна  $a = 140$  л/(сут·чел).

*Задание.* Рассчитать песковые площадки для обезвоживания песка из песколовок.

Задача 6.

*Исходные данные.* Суточный расход сточной воды на очистной станции составляет  $Q = 58000$  м<sup>3</sup>/сут; тип песколовок – аэрируемые; норма водоотведения равна  $a = 190$  л/(сут·чел).

*Задание.* Рассчитать песковые бункеры для обезвоживания песка из песколовок.

## **Контрольные вопросы**

1. Горизонтальные песколовки: особенности конструкции. Принцип работы.

2. Вертикальные песколовки: особенности конструкции. Принцип работы.

3. Тангенциальные песколовки: принцип работы. Достоинства и недостатки.

4. Аэрируемые песколовки: принцип работы. Достоинства и недостатки.

5. Сооружения для обезвоживания песка – бункеры и песковые площадки.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4. РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ОТСТОЙНИКОВ

Цель работы:

- изучить методику расчета основных технологических параметров отстойников;
- освоить методику расчета первичных отстойников.

### Теоретическая часть

Отстаивание является самым простым, наименее трудоемким и дешевым методом выделения из сточной воды грубодиспергированных примесей, плотность которых отличается от плотности воды. Под действием силы тяжести загрязнения оседают на дно или всплывают на поверхность.

### Классификация и виды отстойных сооружений

Отстойные сооружения, используемые на очистных сооружениях канализации, классифицируются:

- по **характеру работы**: подразделяются на *периодического действия* (контактные) и *непрерывного действия* (проточные);
- по **технологической роли**: делятся на *первичные отстойники* (для осветления сточной воды), *вторичные отстойники* (для отстаивания воды, прошедшей биологическую очистку) и *третичные отстойники* (для доочистки), *илоуплотнители*, *осадкоуплотнители*;
- по **направлению движения потока воды**: бывают *вертикальные*, *горизонтальные*, *радиальные* (разновидности: с центральным, периферийным и с радиальным подвижным впуском воды) и *наклонные тонкослойные* (в зависимости от схемы движения, воды и осадка бывают прямоточными, противоточными и перекрестными);
- по **способу обеспечения флокуляции взвешенных веществ**: *активная флокуляция* (достигается путем аэрации, механического

перемешивания или реагентной обработкой) и *пассивная* флокуляция (разновидности: в свободном объеме или в контактной среде);

– по способу выгрузки осадка: сооружения *со скребковыми механизмами, илососами и гидросмывом*.

### **Первичное осветление сточной воды**

Первичные отстойники располагаются в технологической схеме непосредственно после песколовков и предназначены для выделения взвешенных веществ из сточной воды. Основной характеристикой работы первичных отстойников является *эффективность осветления (отстаивания)*, которая определяется из выражения:

$$\Theta = \frac{C_1 - C_2}{C_1}, \%, \quad (4.1)$$

где  $C_1$  – начальная концентрация взвешенных веществ в сточной воде,

$C_2$  – допустимая конечная концентрация взвешенных веществ в осветленной воде, принимаемая в соответствии с нормами или технологическими требованиями.

В большинстве случаев эффект осветления составляет 40–60 %, что приводит также к снижению величины БПК в осветленной сточной воде на 20–40 %. Для станций полной биологической очистки концентрация взвешенных веществ в воде после первичных отстойников не должна превышать 150 мг/л во избежание повышенного прироста активного ила или биопленки.

### **Закономерности первичного осветления**

Основным параметром, который используется при расчете первичных отстойников, является скорость осаждения частиц – *гидравлическая крупность*.

Скорость одиночного осаждения *и* частиц шарообразной формы в условиях ламинарного режима ( $Re \leq 2$ ) описывается формулой Стокса:

$$u = \frac{d^2(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{в}})g}{18\eta}, \quad (4.2)$$

где  $d$  – диаметр частицы;

$\rho_{\text{ч}}$  – плотность частицы;

$\rho_{\text{в}}$  – плотность воды;

$\eta$  – динамическая вязкость чистой воды.

При отстаивании сточных вод наблюдается стесненное осаждение, которое сопровождается столкновением частиц, трением между ними и изменением скоростей. Скорость стесненного осаждения меньше скорости одиночного осаждения и для шарообразных частиц одинакового размера может быть рассчитана по формуле Стокса с дополнительными параметрами, которые учитывают влияние концентрации взвешенных частиц и реологические свойства системы:

$$u = \frac{d^2(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{в}})g\varepsilon}{18\eta_c}, \quad (4.3)$$

где  $\eta_c$  – динамическая вязкость сточной воды;

$\varepsilon$  – объемная доля жидкой фазы.

Для не шарообразных частиц в эти формулы подставляют эквивалентный диаметр частиц:

$$d_s = \sqrt{V_{\text{ч}}/\pi}, \quad (4.4)$$

где  $V_{\text{ч}}$  – объем частицы.

Однако взвешенные вещества, содержащиеся в городских сточных водах, имеющие преимущественно органическое происхождение, представляют собой полидисперсную агрегативно-неустойчивую систему. Частицы неоднородны, имеют хорошие адгезионные свойства и способность к агломерации при осаждении. Различают агломерацию частиц в условиях *перикинетической* (или диффузионной) коагуляции и *ортокинетической* (или гравитационной) флокуляции.

Перикинетическая коагуляция имеет место при разрушении коллоидных систем, размеры частиц которых не превышают 0,1 мкм. Кинетика такого процесса описывается формулой Смолуховского:

$$n_t = \frac{n_0}{1 + 4\pi D_{\text{мол}} m_0 t}, \quad (4.5)$$

где  $n_0$  – начальная концентрация частиц;

$n_t$  – конечная концентрация частиц через период времени  $t$ ;

$r$  – расстояние между центрами агрегирующихся частиц,

$D_{\text{мол}}$  – коэффициент молекулярной диффузии.

Для основной массы грубодиспергированных частиц с размером 1÷1000 мкм определяющей является ортокинетическая флокуляция, обусловленная столкновением частиц разного диаметра. Кинетика этого процесса, являющегося определяющим для всего первичного отстаивания, выражается математической моделью для бидисперсных систем, в которых крупные хлопья поглощают более мелкие частицы. В дифференциальном виде уравнением выражается так:

$$\frac{dn}{dt} = -\Psi n_1 n_{\text{xl}} G \frac{d_{\text{xl}}^3}{6}, \quad (4.6)$$

где  $n_1$  и  $n_{\text{xl}}$  – соответственно количество мелких частиц и хлопьев в единице объема воды;

$\Psi$  – коэффициент эффективности столкновения частиц, обусловленный их адгезионными свойствами;

$G$  – градиент скорости, характеризующий условия столкновения частиц;

$d_{\text{xl}}$  – эквивалентный диаметр хлопьев.

На практике проектирования и эксплуатации получило распространение использование зависимостей эффекта осветления сточной воды от продолжительности ее отстаивания. Широко применяется эмпирическое уравнение вида:

$$\mathcal{E}_t = \mathcal{E}_{120} (t/120)^{a/t}, \quad (4.7)$$

где  $\mathcal{E}_t$  – концентрация взвешенных веществ в период времени  $t$ ;  
 $a$  – эмпирический коэффициент, зависящий от концентрации взвешенных веществ, их способности к агломерации и высоты слоя воды;

$\mathcal{E}_{120}$  – относительное содержание оседающих веществ к общей массе взвешенных веществ после 120 мин отстаивания в покое.

Для проектирования отстойников экспериментально определяют кривые кинетики осветления реальных стоков на данной станции очистки с помощью отстаивания в лабораторных цилиндрах высотой 0,5 и 1 м (рис. 17). Эффект осветления в этом случае рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_t = 100(C_{en} - C_t)/C_{en}, \quad (4.8)$$

где  $C_{en}$  – начальное содержание взвешенных веществ,

$C_t$  – содержание взвешенных веществ в момент времени  $t$ .

Для пересчета полученных кинетик на глубину реальных отстойников используют условие седиментационного подобия:

$$\frac{T_{set}}{t_{set}} = \left( \frac{H_{set}}{h_{set}} \right)^n, \quad (4.9)$$

где  $T_{set}$  – продолжительность осветления в натуре при глубине

$H_{set}$ ;

$t_{set}$  – продолжительность осветления в модели при глубине

$h_{set}$ ;

$n$  – показатель степени, отражающий способность взвеси к агломерации (для городских сточных вод  $n = 0,2-0,4$ ).

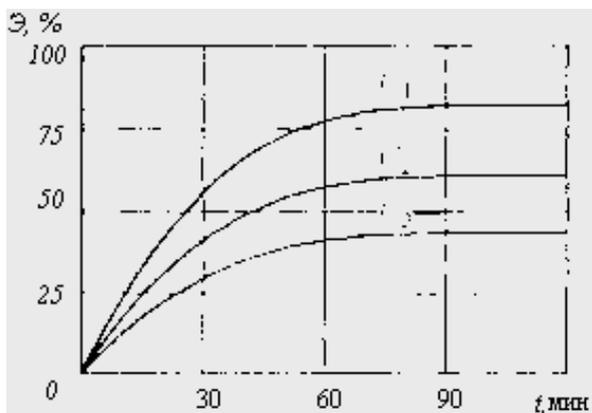


Рис. 17. Зависимость эффекта осветления от продолжительности отстаивания  $C_1 > C_2 > C_3$

Показатели  $a$  и  $n$  определяются экспериментально по результатам технологического моделирования.

Для расчета отстойников используется понятие условной гидравлической крупности  $u_0$  ( $u_0 = h_{set}/t_{set}$ ), которая рассчитывается из соотношения:

$$u_0 = \frac{1000H_{set}}{t_{set}(H_{set}/h_{set})^n}. \quad (4.10)$$

Кроме того, для учета гидродинамического режима потока осветляемой воды в отстойнике вводится коэффициент использования объема проточной части:

$$K_{set} = \frac{W_{прот}}{W_{общ}}, \quad (4.11)$$

где  $W_{общ}$  – общий объем зоны отстаивания;

$W_{прот}$  – объем проточной части, исключая вихревые зоны на входе и выходе.

## **Вторичное отстаивание**

Вторичные отстойники располагаются в технологической схеме после сооружений биологической очистки в искусственно созданных условиях (аэротенки, биофильтры, циркуляционные окислительные каналы, биотенки и др.) и служат для выделения активного ила или отмершей биопленки из очищенной сточной воды.

Эффективность осветления во вторичных отстойниках определяет общий эффект очистки воды и эффективность работы всего комплекса очистных сооружений биологической очистки.

Кроме того, для технологических схем с аэротенками вторичные отстойники во многом определяют объем аэрационных сооружений, который зависит, помимо прочего, от концентрации возвратного активного ила и степени его рециркуляции.

## **Закономерности процесса илоразделения**

Иловая смесь, поступающая из аэротенков во вторичные отстойники, представляет собой многофазную систему, в которой основным компонентом служат хлопья активного ила размером 20÷300 мкм, сформированные в виде сложной трехуровневой клеточной структуры, окруженной экзоклеточным веществом биополимерного состава.

Важнейшим свойством иловой смеси является ее агрегативная неустойчивость – изменение диаметра хлопьев ила в зависимости от интенсивности перемешивания. При снижении интенсивности турбулентного перемешивания и последующем отстаивании иловой смеси в результате биофлокуляции происходит агрегирование хлопьев ила диаметром 20–300 мкм в хлопья ром 1–5 мм.

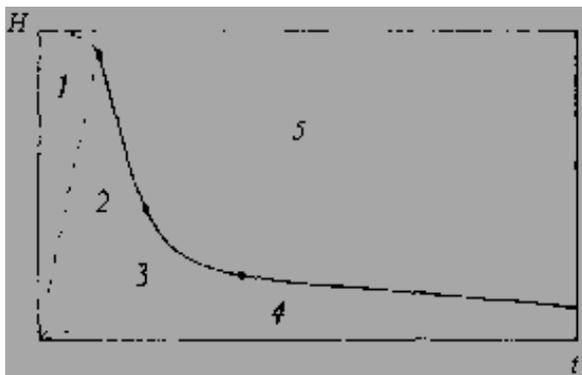


Рис. 18. Кривая кинетики снижения границы раздела фаз вода-активный ил

Осаждение хлопьев активного ила происходит с образованием видимой границы раздела фаз между водой и илом. Скорость снижения границы раздела может быть определена по формуле:

$$v_c = 99e^{-4,9I_i d_i}, \quad (4.12)$$

где  $I_i$  – иловый индекс активного ила,

$d_i$  – доза активного ила в иловой смеси.

При изучении кривой кинетики снижению границы раздела фаз (рис. 18) выделяют следующие основные стадии процесса гравитационного разделения иловых смесей:

1. флокуляция хлопков ила с образованием хлопьев и видимой границы;
2. зонное осаждение хлопьев с постоянной скоростью;
3. переходная стадия от зонного осаждения к уплотнению осевшего ила;
4. уплотнение осевшего ила за счет сжатия под тяжестью лежащих выше слоев;
5. осветление надиловой воды, при которой полидисперсные иловые частицы агломерируются.

Процесс илоразделения во вторичных отстойниках существенно отличается от лабораторных условий и определяется гидродинамическим режимом, который зависит от совокупного воздействия следующих факторов:

- режим впуска иловой смеси в сооружение, оцениваемый скоростью ее входа;
- процесс сбора осветленной воды, определяемый в основном скоростью подхода воды к сборному лотку;
- режим отсоса осевшего ила, определяемый скоростью входа ила в сосуны илососа и уровнем стояния ила.

Влияние перечисленных компонентов способствует образованию турбулентного режима движения воды во вторичных отстойниках, учет которого на конечную концентрацию взвешенных веществ производится как через коэффициент объемного использования, так и через основные технологические параметры работы отстойника.

При гравитационном разделении достигается концентрация взвешенных веществ на выходе, равная 15–25 мг/л. Повышение эффективности илоразделения можно достичь с помощью:

- низкоскоростного перемешивания иловой смеси стержневыми перемешивающими устройствами – в результате концентрация взвешенных веществ снижается до 8–15 мг/л;
- использования взвешенного слоя активного ила и последующего доосветления надыловой воды – возможно снижение содержания взвешенных веществ до 5–7 мг/л;
- тонкослойного отстаивания как для предварительного разделения концентрированных иловых смесей, так и для осветления надилловой воды.

### **Классификация и конструкции вторичных отстойников**

Для очистных сооружений небольшой производительности (до 20 тыс. м<sup>3</sup>/сут) применяются вертикальные вторичные отстойники, для очистных станций средней и большой пропускной способности (более 15 тыс. м<sup>3</sup>/сут) – горизонтальные и радиальные.

Вертикальные вторичные отстойники по конструкции бывают:

- круглые в плане с конической иловой частью, аналогичные первичным, но с меньшей высотой зоны отстаивания;
- квадратные в плане (12×12 м, 14×14 м) с четырех-бункерной пирамидальной иловой частью.

К достоинствам этого типа отстойников относят удобство удаления осевшего ила под гидростатическим давлением, компактность их расположения и простота конструкции. Основными недостатками является большая глубина и возможность развития анаэробных процессов в осевшем активном иле.

Горизонтальные вторичные отстойники полностью аналогичны первичным. Вторичный радиальный отстойник показан на рис. 19.

Иловая смесь подводится к центральному распределительно-му устройству – коническому раструбу внутри металлического цилиндра. Осветленная вода собирается в кольцевой желоб по периметру отстойника. Активный ил удаляется самотеком под гидростатическим давлением через щели (сосуны) подвижного илососа в иловую камеру с регулируемым водосливом. Недостаток этих отстойников заключается в сложности эксплуатации скребковых механизмов.

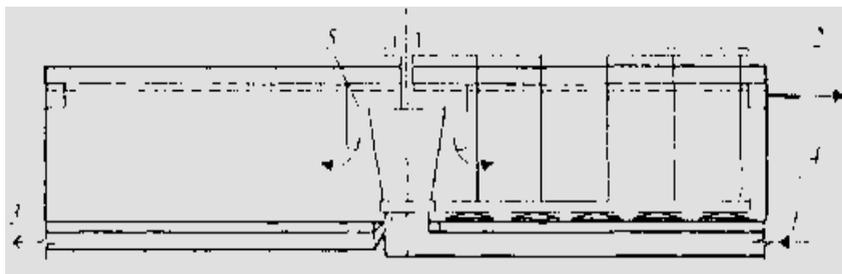


Рис. 19. Вторичный радиальный отстойник

- 1 – подача иловой смеси; 2 – сборный лоток очищенной воды (рис. 18а);
- 3 – удаление активного ила, скребки (рис. 18б); 4 – илосос;
- 5 – распределительный кожух

Существуют модификации радиальных отстойников, в которых используется принцип низкоградиентного перемешивания и усовершенствованный илосос, что позволяет достичь снижения содержания взвешенных веществ в осветленной воде и повышения концентрации циркуляционного активного ила.



Рис. 20а Водосборный кольцевой лоток



Рис. 20б Скребокый механизм для сбора осадка

## Методические указания. Расчет отстойников

### Первичное отстаивание

Рассчитывается необходимый эффект осветления в отстойниках  $\mathcal{E}$ :

$$\mathcal{E} = \frac{C_{en} - C_{ex}}{C_{en}}, \%, \quad (4.13)$$

где  $C_{en}$  – начальная концентрация взвешенных веществ в сточной воде, поступающих в отстойник, мг/л,

$C_{ex}$  – допустимая конечная концентрация взвешенных веществ в осветленной воде, мг/л.

По табл. 1 Приложений в зависимости от расхода сточных вод и необходимого эффекта осветления выбирается конструктивный тип отстойников.

### I. Горизонтальные отстойники

1. Определяется значение гидравлической крупности  $u_0$ :

$$u_0 = \frac{1000H_{set}K_{set}}{t_{set} \left( \frac{H_{set}K_{set}}{h_1} \right)^{n_2}}, \text{ мм/с}, \quad (4.14)$$

где  $H_{set}$  – глубина проточной части в отстойнике, м, (табл. 2 Приложений);

$K_{set}$  – коэффициент использования объема проточной части отстойника (табл. 2 Приложений);

$t_{set}$  – продолжительность отстаивания, для городских сточных вод эту величину допускается принимать по табл. 3 Приложений;

$h_1$  – глубина слоя, равная 0,5 м;

$n_2$  – показатель степени, для городских сточных вод его следует определять по рис. 4.

Если температура сточной воды в производственных условиях отличается от 20°, в формулу (2) вводится поправка:

$$u_0^t = \frac{\mu_{lab}}{\mu_{pr}} u_0, \text{ мм/с}, \quad (4.15)$$

где  $\mu_{lab}$  – вязкость воды в лабораторных условиях;

$\mu_{pr}$  – вязкость воды при температуре  $t$ .

2. Рассчитывается суммарная ширина всех отделений отстойника  $\sum B$ :

$$\sum B = \frac{1000q_{max}}{v_w H_{set}}, \text{ м}, \quad (4.16)$$

где  $q_{max}$  – максимальный секундный расход сточной воды, м<sup>3</sup>/с;

$v_w$  – скорость рабочего потока, мм/с (табл. 2 Приложений).

3. По табл. 2 Приложений принимается ширина одного отделения отстойника  $B_{set}$ , м (в пределах  $2H_{set}$ - $5H_{set}$ ). Рекомендуется выбрать ширину отделения, кратную 3 м. В табл. 5 Приложений приводятся основные параметры типовых первичных горизонтальных отстойников.

Определяется число отделений отстойника  $n$  (должно быть не менее двух):

$$n = \sum B / B_{set}. \quad (4.17)$$

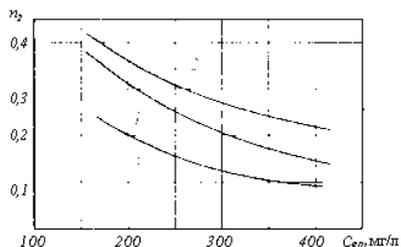


Рис. 21. Зависимость показателя степени  $n_2$  от исходной концентрации взвешенных веществ в городских сточных водах  $C_{en}$  при эффекте отстаивания 1 – при  $\Theta = 50\%$ ; 2 – при  $\Theta = 60\%$ ; 3 – при  $\Theta = 70\%$

4. Проверяется скорость рабочего потока  $v_w$ :

$$v_w = \frac{1000q_{max}}{H_{set} B_{set} n}, \text{ мм/с.} \quad (4.18)$$

Скорость должна быть в пределах, указанных в табл. 2 Приложений. Если это условие не соблюдается, изменяют величину  $H_{set}$  и скорость рабочего потока пересчитывают.

5. Определяется длина отстойника  $L_{set}$ :

$$L_{set} = \frac{v_w H_{set}}{K_{set} (u_0 - v_{tb})}, \text{ м,} \quad (4.19)$$

где  $v_{tb}$  – скорость турбулентной составляющей, мм/с, принимается по табл. 4 Приложений.

6. Рассчитывается полная строительная высота отстойника на выходе  $H$ :

$$H = H_{set} + H_1 + H_2, \text{ м,} \quad (4.20)$$

где  $H_1$  – высота борта над слоем воды, равная 0,3–0,5 м;

$H_2$  – высота нейтрального слоя (от дна на выходе), равная 0,3 м.

7. Определяется количество осадка  $Q_{mud}$ , выделяемого при отстаивании за сутки:

$$Q_{mud} = \frac{Q(C_{en} - C_{ex})}{(100 - p_{mud}) \gamma_{mud} \cdot 10^4}, \text{ м}^3/\text{сут,} \quad (4.21)$$

где  $Q$  – суточный расход сточных вод, м<sup>3</sup>/сут;

$p_{mud}$  – влажность осадка, равная 94–96 %;

$\gamma_{mud}$  – плотность осадка, равная 1 г/см<sup>3</sup>.

8. Определяется вместимость приемка одного отстойника для сбора осадка  $W_{mud}$ :

$$W_{mud} = \frac{1}{6}(B_{set} - 0,5)(B_{set}^2 + 0,5B_{set} + 0,25)tg\alpha, \text{ м}^3. \quad (4.22)$$

где  $\alpha$  – угол наклона стенок приемка, равный 50–55°.

9. Определяется период между выгрузками осадка из отстойника  $T$ :

$$T = 24n \cdot W_{mud} / Q_{mud}, \text{ ч.} \quad (4.23)$$

Рассчитанное значение  $T$  должно быть: при удалении осадка под гидростатическим давлением – не более 48 ч, при удалении осадка механическим способом – не более 8 ч.

## II. Вертикальные отстойники

1. По формуле (2) определяется значение гидравлической крутизны  $u_0$ .

2. Принимается количество отделений отстойников  $n$ , не менее двух.

3. Рассчитывается диаметр центральной трубы  $d_{en}$ :

$$d_{en} = \sqrt{\frac{4q_{max}}{\pi n v_{en}}}, \text{ м.} \quad (4.24)$$

где  $q_{max}$  – максимальный секундный расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с;  
 $v_{en}$  – скорость движения рабочего потока в центральной трубе, не менее 0,03 м/с.

Диаметр  $d_{en}$  округляется до сортаментного значения.

4. Определяется диаметр отстойника  $D_{set}$ :

$$D_{set} = \sqrt{\frac{4000q_{max}}{\pi n K_{set}(u_0 - v_{tb})} + d_{en}^2}, \text{ м.} \quad (4.25)$$

где  $v_{tb}$  – скорость турбулентной составляющей, мм/с, принимается по табл. 4 Приложений.

По рассчитанному диаметру принимается типовой отстойник или проектируется индивидуально. В табл. 6 Приложений приведены параметры типовых вертикальных первичных отстойников.

5. Рассчитывается диаметр раструба  $d_p$  и отражательного щита  $d_{щ}$ :

$$d_p = 1,35d_{en}, \text{ м}; \quad (4.26)$$

$$d_{щ} = 1,3d_p, \text{ м}. \quad (4.27)$$

6. Рассчитывается высота щели между низом центральной трубы и поверхностью отражательного щита  $H_1$ :

$$H_1 = \frac{q_{max}}{\pi n d_p v_{щ}}, \text{ м}, \quad (4.28)$$

где  $v_{щ}$  – скорость движения в щели, равная 0,02 м/с.

7. Определяется общая высота цилиндрической части отстойника  $H_{щ}$ :

$$H_{щ} = H_{set} + H_1 + H_2 + H_3, \text{ м}, \quad (4.29)$$

где  $H_2$  – высота нейтрального слоя между низом отражательного щита и слоем осадка, равная 0,3 м;

$H_3$  – высота борта отстойника, равная 0,5 м.

8. Рассчитывается высота конусной части отстойника  $H_k$ :

$$H_k = 0,5D_{set} \cdot tg\alpha, \text{ м}, \quad (4.30)$$

где  $\alpha$  – угол наклона конического днища, равный 50-60°.

9. Рассчитывается общая высота отстойника  $H$ :

$$H = H_{щ} + H_k, \text{ м}. \quad (4.31)$$

10. По формуле (4.21) определяется суточное количество осадка, задерживаемое в отстойниках  $Q_{mud}$ .

### III. Вертикальные отстойники с нисходяще-восходящим потоком

1. По формуле (2) определяется значение гидравлической крупности  $u_0$ .

2. Принимается стандартный диаметр отстойника  $D_{set}$ , равный 4, 6 или 9 м, затем рассчитывается количество отделений отстойников  $n$ :

$$n = \frac{q_w}{1,41K_{set}D_{set}^2u_0}, \quad (4.32)$$

где  $q_w$  – часовой расход сточных вод, м<sup>3</sup>/ч.

Количество отделений отстойника  $n$  должно быть не менее двух.

3. Определяется диаметр  $D_n$  и высота кольцевой перегородки  $H_n$ :

$$D_{en} = D_{set}\sqrt{0,5}, \text{ м}; \quad (4.33)$$

$$H_n = 2H_{set}/3, \text{ м}. \quad (4.34)$$

4. Определяется общая высота цилиндрической части отстойника  $H_{ц}$ :

$$H_{ц} = H_{set} + H_2 + H_3, \text{ м}, \quad (4.35)$$

где  $H_2$  – высота нейтрального слоя между низом отражательного щита и слоем осадка, равная 0,3 м;

$H_3$  – высота борта отстойника, равная 0,5 м.

5. По формуле (4.30) рассчитывается высота конусной части отстойника  $H_k$ .

6. По формуле (4.31) рассчитывается общая высота отстойника  $H$ .

7. По формуле (4.21) определяется суточное количество осадка, задерживаемое в отстойниках  $Q_{mud}$ .

#### IV. Радиальные отстойники

1. По формуле (4.15) определяется значение гидравлической крупности  $u_0$ .

2. Принимается количество отделений отстойников  $n$ , не менее двух. Затем определяется диаметр отстойника  $D_{set}$ :

$$D_{set} = \sqrt{\frac{4000q_{max}}{\pi n K_{set}(u_0 - v_{tb})}}, \text{ м}, \quad (4.36)$$

где  $v_{tb}$  – скорость турбулентной составляющей, мм/с, принимается по табл. 4 Приложений.

По рассчитанному диаметру принимается типовой отстойник (табл. 7 Приложений) или проектируется индивидуально.

3. Рассчитывается скорость на середине радиуса отстойника  $v$ :

$$v = \frac{2q_{max}}{\pi n D_{set} H_{set}}, \text{ м/с}. \quad (4.37)$$

Скорость должна быть не больше значений, указанных в табл. 2 Приложений. В противном случае принимается другое количество отделений отстойников.

4. По формуле (4.31) определяется общая высота отстойника  $H$ .

5. По формуле (4.21) определяется количество осадка, улавливаемого за сутки  $Q_{mud}$ .

#### V. Отстойники с вращающимся сборно-распределительным устройством

1. По формуле (4.15) определяется значение гидравлической крупности  $u_0$ .

2. Принимается количество отделений отстойников  $n$ , не менее двух.

3. По формуле (4.36) определяется диаметр отстойника  $D_{set}$ , который округляется до наибольшего целого значения, или принимается как диаметр типового отстойника – 18 м или 24 м.

4. Определяется производительность одного отделения отстойника:

$$q_{set} = 2,8K_{set} (D_{set}^2 - d_{en}^2) (u_0 - v_{tb}), \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (4.38)$$

где  $d_{en}$  – диаметр впускного устройства, равный 1 м.

5. Определяется период вращения водораспределительного устройства  $T$ :

$$T = \frac{16,67K_{set}H_{set}}{u_0}, \text{ мин.} \quad (4.39)$$

6. Рассчитывается радиус водораспределительного лотка  $R_l$ :

$$R_l = 0,5D_{set} - b_3, \text{ м}, \quad (4.40)$$

где  $b_3$  – зазор между стенкой и фермой, равный 0,1–0,15 м.

7. Рассчитывается ширина водораспределительного лотка  $B_p$ :

$$B_p = m\sqrt{R_l^2 - l_l^2}, \text{ м}, \quad (4.41)$$

где  $m = 1/11$  или  $1/12$ ;  $l_l$  – удаление расчетного створа лотка от центра отстойника, м.

8. Рассчитывается высота водослива  $h_{сб}$ :

$$h_{сб} = 0,0124 \left( \frac{4q_{set}}{D_{set}^2} l_l \right)^{2/3}, \text{ м}. \quad (4.42)$$

9. По формуле (4.31) определяется общая высота отстойника  $H$ .

10. По формуле (4.21) определяется количество осадка, улавливаемого за сутки  $Q_{mud}$ .

## Тонкослойное отстаивание

### I. Перекрестная схема работы

Расчет ведется по схеме, изображенной на рис. 20.

1. По формуле (4.15) определяется значение гидравлической крупности  $u_0$ .

2. Принимается количество отделений отстойников  $n$ , не менее двух.

3. Определяется длина яруса  $L_{bl}$ :

$$L_{bl} = v_w h_{ti} K_{dis} / u_0, \text{ м}, \quad (4.43)$$

где  $v_w$  – скорость рабочего потока, мм/с, (табл. 2 Приложений);

$h_{ti}$  – высота яруса тонкослойного блока, м, равная высоте  $H_{set}$ , (табл. 2 Приложений);

$K_{dis}$  – коэффициент сноса выделенных частиц, принимаемый равным при плоских пластинах  $K_{dis} = 1,2$ , при рифленых пластинах  $K_{dis} = 1$ .

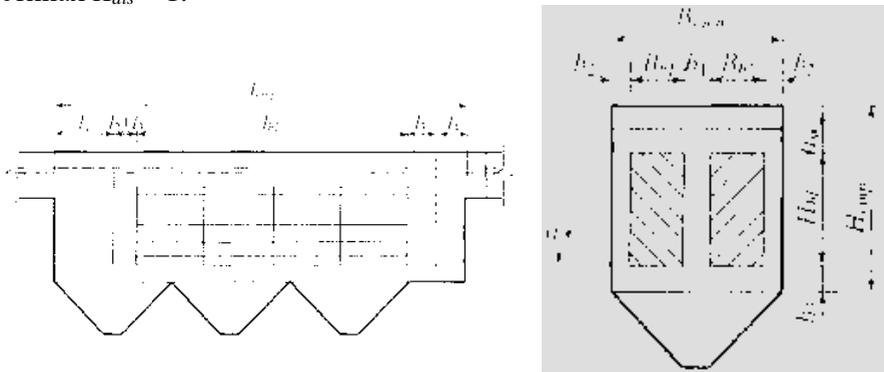


Рис. 22. Расчетная схема тонкослойного отстойника с перекрестной схемой работы

4. Определяется количество блоков в одном ряду, исходя из длины блока модуля в пределах 0,5-2 м. Уточняется длина  $L_{bl}$ .

5. Находится высота тонкослойного блока  $H_{bl}$ :

$$H_{bl} = \frac{q_w K_{dis} h_{ti}}{7,2n K_{set} L_{bl} u_0}, \text{ м}, \quad (4.44)$$

где  $q_w$  – максимальный часовой расход воды, м<sup>3</sup>/ч;

$K_{set}$  – коэффициент использования объема (табл. 2 Приложений).

6. Находим ширину тонкослойного блока  $B_{bl}$  и строительную ширину секции отстойника  $B_{cmp}$ :

$$B_{bl} = B_{set} / 2, \text{ м}; \quad (4.45)$$

$$B_{cmp} = 2B_{bl} + b_1 + 2b_2, \text{ м}. \quad (4.46)$$

где  $B_{set}$  – ширина, м (табл. 2 Приложений);  $b_1 = 0,25$  м;  $b_2 = 0,05-0,1$  м.

7. Находится максимальная ширина пластины блока  $B_{nl}$ :

$$B_{nl} = B_{nl} / \cos \alpha, \text{ м}, \quad (4.47)$$

где  $\alpha$  – угол наклона пластин к горизонту, равный 45–60°.

8. Определяется длина зоны выделения крупных примесей  $l_1$ :

$$l_1 = \frac{q_w t}{60n H_{bl} K_{set} B_{cmp}}, \text{ м}, \quad (4.48)$$

где  $t$  – продолжительность пребывания потока в зоне выделения, равная 2–3 мин.

9. Рассчитывается строительная длина секции отстойника  $H_{cmp}$ :

$$L_{cmp} = L_{bl} + l_1 + l_2 + 2l_3 + l_4, \text{ м}, \quad (4.49)$$

где  $l_2$  – длина, принимается равной  $l_2 = 0,2$  при применении пропорционального устройства для распределения воды, или  $l_2 = 0$  при использовании дырчатой перегородки;  $l_3 = 0,2-0,25$  м;  $l_4 = 0,15-0,2$  м.

10. Определяется строительная высота отстойника  $H_{cmp}$ :

$$H_{cmp} = H_{bl} + h_3 + h_m + 0,3, \text{ м}, \quad (4.50)$$

где  $h_3$  – высота, необходимая для расположения рамы, на которую крепятся блоки, равная  $0,2-0,3$  м;  $h_m = 0,1$  м.

11. По формуле (4.21) определяется количество улавливаемого осадка  $Q_{mud}$ .

## II. Противоточная схема работы № 1

Расчет ведется по схеме, изображенной на рис. 23.

1. По формуле (4.15) определяется значение гидравлической крупности  $u_0$ .

2. Назначается количество отделений отстойников  $n$ , не менее двух.

3. Определяется длина пластин  $L_{bl}$ :

$$L_{bl} = v_w h_{ti} / u_0, \text{ м}, \quad (4.51)$$

где  $v_w$  – скорость рабочего потока, мм/с, (табл. 2 Приложений);

$h_{ti}$  – высота яруса тонкослойного блока, м, равная высоте  $H_{set}$  (табл. 2 Приложений).

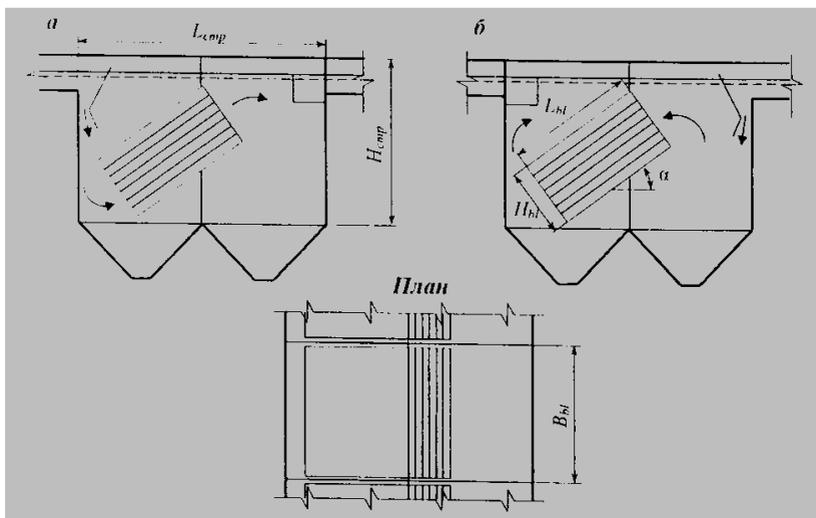


Рис. 23. Расчетная схема тонкослойного отстойника с противочувствительной схемой работы № 1: *а* – для удаления тяжелых примесей; *б* – для удаления легких примесей (масло, нефтепродукты и т. д.)

4. Рассчитывается расстояние между пластинами  $b_{нл}$ :

$$b_{нл} = h_{ii} \sin \alpha, \text{ м}, \quad (4.52)$$

где  $\alpha$  – угол наклона пластин к горизонту, равный  $45 \div 60^\circ$ .

5. Определяется высота  $H_{bl}$  и ширина тонкослойного блока  $B_{bl}$ :

$$H_{bl} = b_{нл} n_{ii}, \text{ м}; \quad (4.53)$$

$$B_{bl} = \frac{q_w}{3,6 n H_{bl} K_{set} v_w}, \text{ м}, \quad (4.54)$$

где  $n_{ii}$  – количество ярусов в блоке, которое принимается, исходя из конструктивных соображений;

$q_w$  – максимальный часовой расход воды,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$K_{set}$  – коэффициент использования объема (табл. 2 Приложений).

Ширина  $B_{bl}$  должна быть в пределах, указанных в табл. 2 Приложений ( $B_{bl} = B_{set}$ ). В противном случае изменяется количество секций  $n$ .

6. Рассчитываются размеры секции отстойника  $L_{cmp}$  и  $H_{cmp}$ :

$$L_{cmp} = L_{bl} \cdot \cos \alpha + H_{bl} \cdot \sin \alpha + 1, \text{ м}; \quad (4.55)$$

$$H_{cmp} = L_{bl} \cdot \sin \alpha + H_{bl} \cdot \cos \alpha + 1, \text{ м}. \quad (4.56)$$

7. По формуле (4.21) определяется количество улавливаемого осадка  $Q_{mud}$ .

### III. Противоточная схема работы № 2

Расчет ведется по схеме, изображенной на рис. 24.

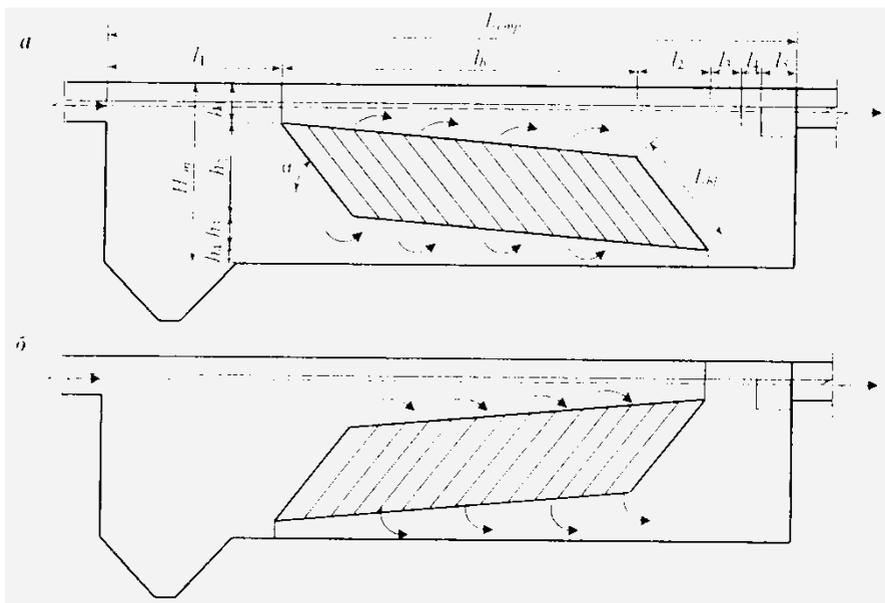


Рис. 24. Расчетная схема тонкослойного отстойника с противоточной схемой работы № 2: а – для удаления тяжелых примесей; б – для удаления легких примесей (масло, нефтепродукты и т. д.)

1. По формуле (4.15) определяется значение гидравлической крупности  $u_0$ .

2. Принимается количество отделений отстойников  $n$ , не менее двух.

3. По формуле (4.51) определяется длина пластин в ярусе  $L_{bl}$ .

4. Задается ширина одного тонкослойного блока (секции отстойника)  $B_{bl}$  в пределах, указанных в табл. 2 Приложений ( $B_{bl} = B_{bl}$ ).

5. Определяется длина зоны тонкослойного отстаивания  $l_b$ :

$$l_b = \frac{q_w}{3,6nB_{bl}K_{set}v_w}, \text{ м}, \quad (4.57)$$

где  $q_w$  – максимальный часовой расход воды,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$K_{set}$  – коэффициент использования объема (табл. 2 Приложений)

6. Находится общая длина отстойника  $L_{cmp}$ :

$$l_2 = L_{bl} \cdot \sin(90 - \alpha), \text{ м}, \quad (4.58)$$

$$L_{cmp} = l_1 + l_b + l_2 + l_3 + l_4 + l_5, \text{ м}, \quad (4.59)$$

где  $\alpha$  – угол наклона пластин к горизонту, равный  $45-60^\circ$ ;

$l_1$  – длина зоны выделения крупных примесей, равная  $1-1,5$  м;  $l_3 = 0,3$  м;  $l_4 = 0,05-0,1$  м,  $l_5 = 0,4-0,5$  м.

7. Находится общая высота отстойника  $H_{cmp}$ :

$$h_2 = L_{bl} \cdot \sin \alpha, \text{ м}, \quad (4.60)$$

$$H_{cmp} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4, \text{ м}, \quad (4.61)$$

где  $h_1 \geq 0,6$  м;  $h_3 = 0,2-0,5$ ;  $h_4 = 0,4-0,5$ .

8. По формуле (4.21) определяется количество осадка, улавливаемого за сутки  $Q_{mud}$ .

#### IV. Реконструкция существующих отстойников в тонкослойные при противоточной схеме работы

При необходимости повышения эффективности отстаивания по формуле (4.15) определяется значение гидравлической крупности  $u_0$ . При необходимости увеличить только пропускную способность отстойников расчетная гидравлическая крупность  $u_0$  не изменяется.

##### Горизонтальные отстойники

1. Назначается ширина тонкослойного блока, равная ширине секции отстойника  $B_{bl} = B_{set}$ . Назначается угол  $\alpha$  наклона пластин к горизонту, равный 45–60°.

2. По табл. 2 Приложений принимается высота яруса тонкослойного блока  $h_{ii}$ , м, скорость рабочего потока  $v_w$  мм/с и коэффициент использования объема  $K_{set}$ .

3. По формуле (4.51) определяется длина пластин в ярусе  $L_{bl}$ .

4. По формуле (4.57) определяется длина зоны тонкослойного отстаивания  $l_b$ .

5. Рассчитывается высота тонкослойного блока  $H_{bl}$ :

$$H_{bl} = \frac{q_w h_{ii}}{3,6nB_{bl}L_{bl}K_{set}u_0}, \text{ м}, \quad (4.62)$$

где  $n$  – количество секций отстойников;

$q_w$  – максимальный часовой расход воды, м<sup>3</sup>/ч;

$K_{set}$  – коэффициент использования объема (табл. 2 Приложений).

6. Определяется число ярусов в тонкослойном блоке  $n_{ii}$ :

$$n_{ii} = \frac{H_{bl}}{h_{ii} \cdot \cos \alpha}. \quad (4.63)$$

7. По формуле (4.21) пересчитывается количество осадка, улавливаемого за сутки  $Q_{mud}$ .

8. По формуле (4.39) пересчитывается период между выгрузками осадка из отстойника  $T$ .

### Вертикальные отстойники

Расчет ведется по схеме, изображенной на рис. 25.

1. По табл. 2 Приложений принимается высота яруса тонкослойного блока  $h_{ii}$ , м.

2. Назначается угол  $\alpha$  наклона пластин к горизонту, равный 45–60°.

3. По формуле (4.51) определяется длина пластин в ярусе  $L_{bl}$ .

4. Рассчитывается высота размещения пластин  $H_{nl}$ :

$$H_{nl} = L_{bl} \cdot \sin \alpha, \text{ м}, \quad (4.64)$$

которая должна быть не больше глубины отстойной части  $H'_{set}$ , реконструируемого вертикального отстойника. В противном случае изменяют величины  $h_{ii}$  или  $\alpha$ .

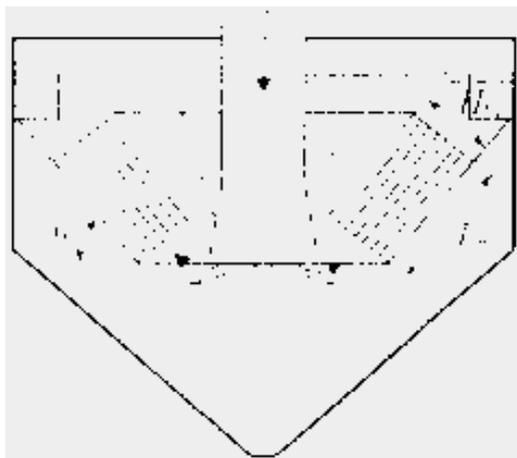


Рис. 25. Вертикальный отстойник с тонкослойными модулями

5. По формуле (4.63) определяется число ярусов в тонкослойном блоке  $n_{ii}$ .

6. По формуле (4.21) пересчитывается количество осадка, улавливаемого за сутки  $Q_{mud}$ .

### Радиальные отстойники

Расчет ведется по схеме, изображенной на рис. 26.

1. По табл. 2 Приложений принимается высота яруса тонкослойного блока  $h_{ii}$ , м.

2. Назначается угол  $\alpha$  наклона пластин к горизонту, равный 45–60°.

3. По формуле (4.51) определяется длина пластин в ярусе  $L_{bl}$ .

4. Конструктивно принимается диаметр расположения блоков  $D_1$ , м. Рассчитывается высота тонкослойного блока  $H_{bl}$ :

$$H_{bl} = \frac{q_w h_{ii}}{3,6nD_1 L_{bl} K_{set} u_0}, \text{ м}, \quad (4.65)$$

где  $n$  – количество секций отстойников;

$q_w$  – максимальный часовой расход воды, м<sup>3</sup>/ч;

$K_{set}$  – коэффициент использования объема, (табл. 2 Приложений).

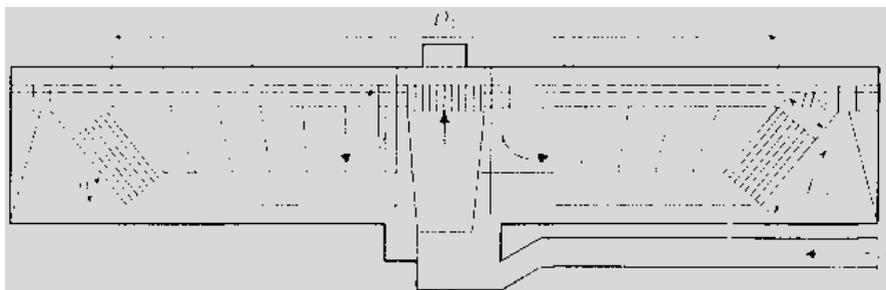


Рис. 26. Радиальный отстойник с тонкослойными модулями

5. Рассчитываются размер тонкослойного блока по вертикали:

$$H = L_{bl} \cdot \sin \alpha + H_{bl} \cdot \cos \alpha, \text{ м}, \quad (4.66)$$

который должен быть не больше глубины отстойной части  $H'_{set}$  реконструируемого вертикального отстойника. В противном случае изменяют величины  $h_{ii}$  или  $\alpha$ .

6. По формуле(4.63) определяется число ярусов в тонкослойном блоке  $n_{ii}$ .

7. По формуле (4.21) пересчитывается количество осадка, улавливаемого за сутки  $Q_{mud}$ .

### Вторичное отстаивание

1. Рассчитывается нагрузка воды на поверхность отстойника  $q_{ss}$ . После биофильтров эта нагрузка определяется по формуле:

$$q_{ssb} = 3,6K_{set}u_0, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}), \quad (4.67)$$

где  $u_0$  – гидравлическая крупность биопленки, при полной биологической очистке равная 1,4 мм/с;

$K_{set}$  – коэффициент использования объема отстойника (табл. 2 Приложений).

После аэротенков эта нагрузка рассчитывается по формуле:

$$q_{ssa} = \frac{4,5K_{ss}H_{set}^{0,8}}{(0,1J_i a_i)^{0,5-0,01a_i}}, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}), \quad (4.68)$$

где  $H_{set}$  – рабочая глубина отстойника, м;

$a_i$  – доза активного ила в аэротенке, не более 15 г/л;

$a_t$  – требуемая концентрация ила в осветленной воде, не менее 10 мг/л;

$K_{ss}$  – коэффициент использования объема зоны отстаивания, принимаемый для радиальных отстойников – 0,4, вертикальных – 0,35, вертикальных с периферийным впуском – 0,5, горизонтальных – 0,45;

$J_i$  – иловый индекс, см<sup>3</sup>/г.

2. Принимается количество отделений отстойников  $n$ , не менее трех.

3. Определяется площадь одного отделения отстойника  $F$ :  
– после биофильтров с рециркуляцией:

$$F = \frac{q_w(1 + K_{rec})}{nq_{ss}}, \text{ м}^2, \quad (4.69)$$

– после аэротенков:

$$F = \frac{q_w}{nq_{ss}}, \text{ м}^2, \quad (4.70)$$

где  $q_w$  – максимальный часовой расход воды,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$K_{rec}$  – коэффициент рециркуляции.

Дальнейший расчет ведется в зависимости от конструктивно-го типа отстойника.



Рис. 27 Вторичный отстойник

## I. Горизонтальные отстойники

1. По табл. 2 Приложений принимается ширина одного отделения отстойника  $B_{set}$ , м, (в пределах  $2H_{set}-5H_{set}$ ). Рекомендуется выбрать ширину отделения, кратную 3 м.

2. Определяется длина отстойника  $L_{set}$ :

$$L_{set} = \frac{q_w}{nB_{set}}, \text{ м.} \quad (4.71)$$

3. Рассчитывается полная строительная высота отстойника на выходе  $H$ :

$$H = H_{set} + H_1 + H_2 + H_3, \text{ м,} \quad (4.72)$$

где  $H_1$  – высота борта над слоем воды, равная 0,3-0,5 м;

$H_2$  – высота нейтрального слоя (от дна на выходе), равная 0,3 м;

$H_3$  – высота слоя ила, равная 0,3-0,5 м.

4. Определяется количество осадка  $Q_{mud}$ , выделяемого при отстаивании.

Для отстойников после биофильтров количество осадка (био-пленки)  $Q_{mud}$  рассчитывается по формуле:

$$Q_{mud} = \frac{100q_{mud}QL_{en}}{10^6(100 - p_{mud})a}, \text{ м}^3/\text{сут,} \quad (4.73)$$

где  $q_{mud}$  – удельное количество избыточной био-пленки, равное 8 г/(чел·сут) – для капельных биофильтров и 28 г/(чел·сут) – для высоконагружаемых биофильтров;

$p_{mud}$  – влажность био-пленки, равная 96%;

$a$  – количество БПК<sub>полн</sub> в сточной воде на одного жителя в сутки, г/(чел·сут);

$Q$  – суточный расход сточных вод, м<sup>3</sup>/сут;

$L_{en}$  – БПК<sub>полн</sub> поступающей в биофильтры сточной воды, мг/л.

Для отстойников после аэротенков количество осадка (активного ила)  $Q_{mud}$  рассчитывается по формуле:

$$Q_{mud} = \frac{Q(1000a_i - a_t)}{(100 - p_{mud})\gamma_{mud} \cdot 10^4}, \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (4.74)$$

где  $p_{mud}$  – влажность активного ила, равная 99,2–99,7%;

$\gamma_{mud}$  – плотность активного ила, равная 1 г/см<sup>3</sup>.

5. По формуле (4.22) определяется вместимость приемка одного отстойника для сбора осадка  $W_{mud}$ .

6. По формуле (4.23) определяется период между выгрузками осадка из отстойника  $T$ , который должен быть при удалении осадка под гидростатическим давлением после биофильтров – не более 48 ч, после аэротенков – не более 2 ч.

## II. Вертикальные отстойники

1. По формуле (4.24) рассчитывается диаметр центральной трубы  $d_{en}$ , который затем округляется до сортаментного значения.

2. Определяется диаметр отстойника  $D_{set}$ :

$$D_{set} = \sqrt{\frac{4F}{\pi} + d_{en}^2}, \text{ м}. \quad (4.75)$$

По рассчитанному диаметру принимается типовой отстойник или проектируется индивидуально. В табл. 8 Приложений приведены параметры типовых вторичных вертикальных отстойников.

3. По формулам (4.67–4.72) определяются основные размеры вертикальных отстойников. При этом в формулу (14) подставляется значение скорости движения в щели между низом центральной трубы и поверхностью отражательного щита  $v_{щ}$ , равное 0,015 м/с.

4. По формуле (4.73) или (4.74) находится количество осадка  $Q_{mud}$ , выделяемого при отстаивании.

### III. Вертикальные отстойники с нисходяще-восходящим потоком

1. Определяется диаметр отстойника  $D_{set}$ :

$$D_{set} = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}, \text{ м,} \quad (4.76)$$

который округляется до ближайшего стандартного значения – 4, 6 или 9 м.

2. По формулам (4.67–4.72) определяются основные размеры отстойника.

3. По формуле (4.73) или (4.74) находится количество осадка  $Q_{mud}$ , выделяемого при отстаивании.

### IV. Радиальные отстойники

1. По формуле (4.76) определяется диаметр отстойника  $D_{set}$ . По диаметру  $D_{set}$  принимается типовой отстойник или проектируется индивидуально. В табл. 9 Приложений приведены параметры типовых вторичных радиальных отстойников.

2. По формуле (4.72) определяется общая высота отстойника  $H$ .

3. По формуле (4.73) или (4.74) находится количество осадка  $Q_{mud}$ , выделяемого при отстаивании.

***Расчет отстойника с вращающимся сборно-распределительным устройством производится в следующем порядке:***

1. По кривым кинетики отстаивания (рис. 4) определяется продолжительность отстаивания.

2. По формуле:

$$n = \frac{\lg t_2 - \lg t_1}{\lg h_2 - \lg h_1}, \quad (4.77)$$

определяется показатель степени  $n$ .

3. Далее по формуле:

$$i_o = \frac{1000kH}{t_2 \left( \frac{kH}{h_2} \right)^n}, \quad (4.78)$$

определяется гидравлическая крупность (при этом для рассчитываемого отстойника ( $k$  по таблице 3)).

4. Определяется диаметр впускного устройства (полого вала):

$$d_6 = R_l / 15, \quad (4.79)$$

$$R_l = 0,5 D - b_3. \quad (4.80)$$

5. Далее определяется производительность отстойника.

Производительность одного отстойника  $q_{set}$ , м<sup>3</sup>/ч, следует определять, исходя из заданных геометрических размеров сооружения и требуемого эффекта осветления сточных вод по формулам:

а) для горизонтальных отстойников:

$$q_{set} = 3,6 k L B (u_0^T - v_{tb}); \quad (4.81)$$

б) для отстойников радиальных, вертикальных и с вращающимся сборно-распределительным устройством:

$$q_{set} = 2,8 k (D^2 - d_B^2) u_0^T; \quad (4.82)$$

в) для отстойников с нисходяще-восходящим потоком:

$$q_{set} = 1,41 k D^2 u_0^T, \quad (4.83)$$

где,  $k$  – коэффициент использования объема, принимаемый по таблице 3,

$L$  – длина секции, отделения, м;

$B$  – ширина секции, отделения, м;

$D$  – диаметр отстойника, м;

$d_B$  – диаметр впускного устройства, м;

$u_0^T$  – гидравлическая крупность задерживаемых частиц с учетом температуры очищаемой жидкости, мм/с.

6. Определяется период вращения сборно-распределительного устройства.

7. Рассчитывается формула перегородки лотка. Для этого по формулам:

$$B_p = m\sqrt{R_{\text{л}}^2 - l_{\text{л}}^2}, \quad (4.84)$$

$$h_{\text{сб}} = 1,24 \left( \frac{q_{\text{сет}}}{R_{\text{л}}^2} l_{\text{л}} \right)^{2/3}, \quad (4.85)$$

рассчитывается ширина лотка  $B_p$  и высота водослива  $h_{\text{сб}}$  по створам. Результаты расчета сводятся в табл. 14.

Таблица 14

**Форма таблицы для заполнения**

$L_{\text{л}}, \text{ м}$	0	1	2	3	4	5	...	$R_{\text{л}}$
$B_p, \text{ м}$								
$h_{\text{сб}}, \text{ м}$								

8. Определяется количество струенаправляющих лопаток.

**Задания для самостоятельного выполнения**

Задача 1.

*Исходные данные.* Суточный расход городских сточных вод  $Q = 36500 \text{ м}^3/\text{сут}$ , максимальный секундный расход  $0,65 \text{ м}^3/\text{с}$ , содержание взвешенных веществ в поступающей воде  $210 \text{ мг/л}$ , в осветленной воде –  $100 \text{ мг/л}$ .

*Задание.* Рассчитать первичный горизонтальный отстойник (глубина проточной части отстойника  $4 \text{ м}$ , скорость рабочего потока  $5 \text{ мм/с}$ ,  $K_{\text{сет}}=0,5$ ).

Задача 2.

*Исходные данные.* Суточный расход городских сточных вод  $Q = 25600 \text{ м}^3/\text{сут}$ , максимальный часовой расход  $1650 \text{ м}^3/\text{ч}$ , содержание взвешенных веществ в поступающей воде  $220 \text{ мг/л}$ , в осветленной воде –  $130 \text{ мг/л}$ .

*Задание.* Рассчитать тонкослойный отстойник с противочечной схемой работы (глубина отстойной части отстойника  $0,1\text{м}$ ,  $n = 10$ ,  $K_{\text{set}} = 0,7$ ).

### **Контрольные вопросы**

1. Классификация и виды отстойников.
2. Закономерности первичного осветления.
3. Вторичное отстаивание, закономерности процесса илоразделения.
4. Закономерности процесса илоотделения.
5. Основные конструкционные параметры отстойников.

## **ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5. РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕФТЕЛОВУШКИ**

### **Теоретическая часть**

При механической очистке из сточной воды удаляются загрязнения, находящиеся в ней главным образом в нерастворенном и частично коллоидном состоянии. Механическая очистка сточных вод является окончательной стадией в том случае, если по местным условиям и в соответствии с санитарными правилами сточные воды можно спустить после дезинфекции в водоем. Чаще же механическая очистка - предварительная стадия перед биохимической очисткой.

Крупные отбросы, тряпки, бумага, остатки овощей и фруктов и различные производственные отходы задерживаются решетками. Отбросы, задержанные на решетках, направляются в дробилки. Применяют также решетки-дробилки, в которых одновременно задерживаются и дробятся крупные отбросы.

Основная масса загрязнений минерального происхождения (песок), удельный вес частиц, которых значительно выше удельного веса воды, осаждается в песколовках. Песок из песколовок направляется обычно в виде песчаной пульпы на песковые площадки, где он обезвоживается и периодически удаляется.

Основная масса загрязнений органического происхождения, находящаяся во взвешенном состоянии, выделяется из сточной жидкости в отстойниках. Вещества, удельный вес которых больше удельного веса воды, падают на дно. Вещества более легкие, чем вода (жиры, масла, нефть, смолы), всплывают на поверхность и их отделяют от сточной жидкости.

Для очистки производственных сточных вод, содержащих нефтепродукты, применяют нефтеловушки. Простейшие нефтеловушки представляют собой прямоугольные, вытянутые в длину резервуары, в которых за счет разности удельных весов нефти и воды происходит их разделение (рис. 28).

Принцип работы нефтеловушки основан на разделении веществ с различной удельной массой. Нефть, находящаяся в воде в виде частиц различного размера, всплывает на поверхность (т. к. ее удельная масса меньше удельной массы воды), а минеральные примеси оседают на дно под действием силы тяжести.

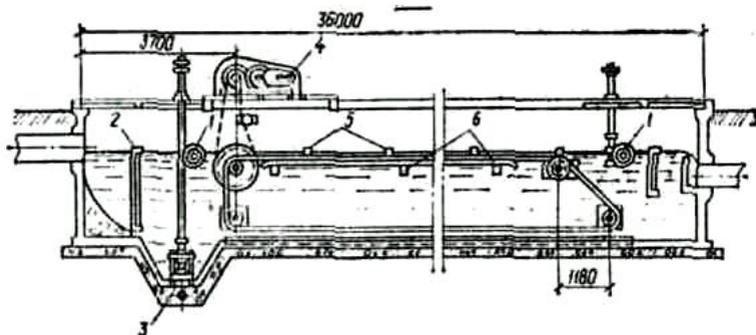


Рис.28. Нефтеловушка горизонтального типа: 1 – нефтеулавливающие желоба; 2 – струенаправляющая перегородка; 3 – перфорированная система сбора осадка; 4 – мотор для движения роликов; 5 – лента со скребками для сбора нефтяной пленки; 6 – скребки

Современные конструкции нефтеловушек позволяют комбинировать их с другими сооружениями механической очистки сточных вод (отстойниками, песколовками, масло- и жироловушками).

По принципу движения воды в сооружениях нефтеловушки делятся на горизонтальные, вертикальные и радиальные.

### Методические указания

Расчет параметров нефтеловушки ведется в следующем порядке.

1. Рассчитываем максимальный средний расход на нефтеловушку ( $m^3/c$ ):

$$Q_{\max} = \frac{Q_{\text{ср.сут.}} K_{\text{ч}}}{24 \cdot 3600}; \quad (5.1)$$

где  $Q_{\text{ср.сут.}}$  – средний расход сточных вод,  $m^3/\text{сут}$ ;

$K_{\text{ч}}$  – часовой коэффициент неравномерности.

2. Размеры нефтеловушки определяют по формулам:

$$B = \frac{Q_{\max}}{nHV}, \quad (5.2)$$

где  $B$  – ширина секций, м; принимаем: число секций нефтеловушки  $n = 2$ ;

$Q_{\max}$  – максимальный секундный расход на нефтеловушку, м<sup>3</sup>/с;

$H$  – высота нефтеловушки (2 метра);

$V$  – расчетная скорость движения воды ( $V = 0,004$  м/с).

$$L = \frac{VH}{KV_0}, \quad (5.3)$$

где  $L$  – длина, м;

$V$  – расчетная скорость движения воды, м/с;

$H$  – высота нефтеловушки (2 метра);

$K$  – коэффициент, зависящий от типа отстойника, для горизонтальных –  $K = 0,5$ ;

$V_0$  – гидравлическая крупность (скорость всплытия частиц)  $V_0 = 0,6$  мм/с.

3. Эффективность очистки сточной воды от нефтепродуктов:

$$\Theta = \frac{(C_1 - C_2)}{C_1} 100, \quad (5.4)$$

где,  $\Theta$  – эффективность очистки сточной воды от нефтепродуктов, %;

$C_1$  – содержание нефтепродуктов в загрязненной воде, мг/л;

$C_2$  – содержание нефтепродуктов в очищенной воде, мг/л.

4. Количество уловленных за сутки нефтепродуктов, т/сут:

$$G_H = (C_1 \cdot \Theta \cdot K \cdot Q_{\text{ср.сут.}}) \cdot 10^{-6}. \quad (5.5)$$

### Задание для самостоятельного выполнения

Используя исходные данные (табл.15), рассчитать нефтеловушку для очистки производственных сточных вод, содержащих нефтепродукты.

Таблица 15

#### Исходные данные для расчета нефтеловушки

Показатель	1	2	3
$Q_{\text{ср.сут.}}, \text{ м}^3/\text{сут}$	8000	7800	8200
$C_1, \text{ мг/л,}$	150	120	150
$C_2, \text{ мг/л.}$	60	55	68
$K_ч$	1,2	1,1	1,2

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6. РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ФИЛЬТРОВ

Цель работы:

- изучить виды и принципы работы фильтрационных установок;
- освоить методику проектирования фильтрационных установок.

### Теоретическая часть

Фильтрационные сооружения и установки применяют для глубокой очистки (доочистки) городских и производственных сточных вод, прошедших биологическую или физико-химическую очистку. Они подразделяются на фильтры с зернистой загрузкой и сетчатые барабанные фильтры.

Фильтры с зернистой загрузкой классифицируются:

– по **направлению потока**: бывают с нисходящим (сверху вниз) и восходящим (снизу вверх) потоком, в отдельных случаях – с горизонтальным потоком;

– по **конструкции**: различают однослойные, двухслойные, аэрируемые и каркасно-засыпные;

– по **виду фильтрующего материала**: природные материалы (кварцевый песок, гравий, гранитный щебень, доменный шлак, ке-рамзит, антрацит, горелые породы, мраморная крошка) или искусственные материалы (полимеры – пенополиуретан, полистирол, полипропилен и др.).

Сетчатые барабанные фильтры, применяемые в качестве самостоятельных сооружений глубокой очистки, называют *микро-фильтры*, а устанавливаемые перед зернистыми фильтрами глубокой очистки – *барабанные сетки*.

В результате доочистки сточных вод в загрузке фильтров задерживаются мелкодисперсные взвешенные частицы и активный ил, выносимые из отстойников или осветлителей, а также некоторые специфические компоненты, характерные для стоков отдельных промышленных предприятий (нефтепродукты, фосфор и др.).

Различают *рабочий режим* и *форсированный режим*, который возникает при выключении отдельных секций фильтров на промывку и ремонт. При форсированном режиме скорость фильтрования увеличивается.

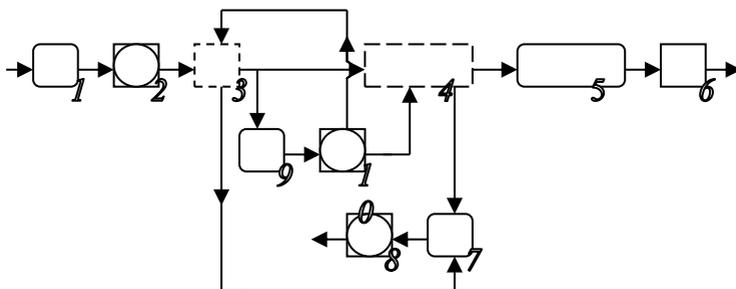


Рис. 29. Станция доочистки сточных вод с фильтрованием:  
 1 – приемный резервуар; 2, 8, 10 – насосные станции; 3 – барабанные сетки; 4 – фильтровальные сооружения; 5 – контактный резервуар для хлорирования; 6 – аэратор-быстроток; 7 – резервуар для сбора промывной воды; 9 – резервуар для промывки фильтров

Фильтровальная станция доочистки сточных вод обычно включает в себя приемный резервуар, насосную станцию для подачи воды, фильтровальные установки, резервуар для сбора промывных вод, насосную станцию для их перекачки в начало очистной станции канализации, а также другое оборудование (рис. 29).

Регенерацию зернистых фильтрующих материалов производят промывкой водой или водой и воздухом, синтетические материалы обычно отжимают для регенерации. Для промывки фильтров можно использовать водопроводную воду или воду после барабанных сеток и фильтров.

## Методические указания

### Расчет фильтров

Исходя из данных по условиям применимости и эффективности очистки, которые приведены в табл. 16, выбирается необходимый

тип фильтров. Затем производится расчет в соответствии с выбранным типом.

### 1. Зернистые фильтры

1. По табл. 17 выбираются необходимые для дальнейшего расчета параметры – скорость фильтрования при нормальном ( $v_{ф}$ ) и форсированном режиме ( $v_{ф.ф}$ ), м/ч, интенсивность промывки водой и воздухом  $w$ , л/(с·м<sup>2</sup>), а также продолжительность промывки  $t$ , мин, и продолжительность фильтроцикла  $T_{ф}$ , ч.

2. Определяется расчетный расход сточной воды, подаваемой на фильтры  $Q_{ф}$  (м<sup>3</sup>/сут):

$$Q_{ф} = 20,4q_w, \quad (6.1)$$

где  $q_w$  – максимальный часовой приток сточной воды, м<sup>3</sup>/ч.

Таблица 16

### Область применения фильтров и эффективность очистки

Фильтр		Варианты применения	Эффект очистки, %	
			по БПК <sub>полн</sub>	по взвеш. вещ-м
Одно- слойные с нисхо- дящим потоком	мелко- зернистые	Доочистка производственных стоков после механической очистки для задержания мелкодисперсных взвешенных частиц, а также биологически очищенных городских сточных вод	50–60	70–75
	крупно- зернистые		35–40	45–50
С восходящим потоком		Доочистка биологически очищенных городских сточных вод	50–65	70–85
Двухслойные		Доочистка производственных или бытовых сточных вод, не содержащих волокнистые примеси и клеящие вещества	60–70	70–80
Аэрируемые		Глубокое удаление коллоидных и растворенных органических загрязнений	75–80	80–90

Каркасно-засыпные	Доочистка биологически производственных или очищенных городских сточных вод, общего стока машиностроительных заводов. Использование в качестве денитрификаторов	70	70–80
С плавающей загрузкой	Доочистка механически очищенных производственных стоков (металлургическая, химическая и легкая промышленность), а также биологически очищенных городских сточных вод	65–75	70–85
Микрофильтры	При допустимой меньшей степени очистки по сравнению с зернистыми фильтрами	25–30	50–60
Барабанные сетки	Как предварительная ступень очистки перед фильтрами глубокой очистки	5–10	20–25

3. Находится количество промывок каждого фильтра за сутки  $n$ :

$$n = \frac{24}{T_{\phi}} \quad (6.2)$$

4. Рассчитывается общая площадь фильтров  $F_{\phi}$ :

$$F_{\phi} = \frac{Q_{\phi}(1+m)}{v_{\phi}(T - nt_4/60) - 0,06n(w_1t_1 + w_2t_2 + w_3t_3)}, \text{ м}^2, \quad (6.3)$$

где  $m$  – коэффициент, учитывающий расход воды на промывку барабанных сеток, равный 0,003-0,005;

$w_1$  – интенсивность, л/(с·м<sup>2</sup>) начального взрыхления верхнего слоя загрузки продолжительностью  $t_1$ , мин;

$w_2$  – интенсивность подачи воды, л/(с·м<sup>2</sup>) с продолжительностью водо-воздушной промывки  $t_2$ , мин;

$w_3$  – интенсивность промывки, л/(с·м<sup>2</sup>) продолжительностью  $t_3$ , мин;

$t_4$  – продолжительность простоя фильтра в связи с промывкой, равная 20 мин;

$T$  – продолжительность работы станции в течение суток, ч.

Таблица 17

### Расчетные параметры фильтров с зернистой загрузкой

Фильтр	Параметры фильтрующей загрузки				Высота слоя, м	Скорость фильтрования, м/ч, при режиме		Интенсивность промывки, л/(с·м <sup>2</sup> )	Продолжительность этапа промывки, мин	Продолжительность фильтроцикла, ч
	фильтрующий материал / поддерживающие слои	гранулометрическая характеристика загрузки d, мм				нор. м.	форс.			
		min	max	эквив.						
Однослойный мелкозернистый с подачей воды сверху вниз	кварц. песок / гравий	1,2	2,0	1,5-1,7	1,20-1,30	6 - 7	7 - 8	воздух (18-20)	2	12
		2	5	-	0,15-0,20			воздух (18-20) и вода (3-5)	10-12	
		5	10	-	0,10-0,15			вода (7)	6-8	
		10	20	-	0,10-0,15					
		20	40	-	0,20-0,25					
Однослойный крупнозернистый с подачей воды сверху вниз	гранитн. щебень / -	3	10	5,5	1,2	16	18	воздух (16)	3	12
								воздух (16) и вода (10)	4	
								вода (15)	3	
Однослойный с подачей воды снизу вверх	кварц. песок / гравий	1,2	2	1,5 - 1,7	1,5 – 2,0	11 - 12	13 - 14	воздух (18-20)	2	12 или 24
		2	40	-	0,75-0,95			воздух (18-20) и вода (3-4)	8-10	
								вода (6)	6-8	

Продолжение таблицы

Двухслойный с подачей воды сверху вниз	антрацит (керамзит), кварц. песок / гравий	1,2	2,0	-	0,40-0,50	7 - 8	9 - 10	вода (15)	3	24
		0,7	1,6	-	0,60-0,70					
		2	5	-	0,15-0,25					
		5	10	-	0,10-0,15					
		10	30	-	0,10-0,15					
		20	40	-	0,20-0,25					
Аэрируемый	кварц. песок, гранит.щебень / гравий	1	1,8	-	1,0	6 - 7	7 - 8	вода (16-18)	7-8	24
		3	6	-	1,0-1,5					
		2	32	-	0,45					
Каркасно-засыпной (КЗФ)	кварц. песок / гравий(каркас)	0,8	1,0	-	0,9	10	15	воздух (14-16) и вода (6-8)	5-7	20
		1	40	-	1,8					
		40	60	-	0,5			вода (14-16)	3	

Начальное гидравлическое взрыхление верхнего слоя принимается только для фильтров с подачей воды сверху вниз с интенсивностью  $w_1 = 16\text{--}18 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$  и продолжительностью  $t_1 = 6\text{--}8$  мин. Интенсивность подачи воды  $w_2$  учитывается в формуле (6.3) только в случае применения водо-воздушной промывки загрузки.

5. Определяется число секций фильтров  $N$  и площадь одной секции фильтра  $F_1$ :

$$N = 0,5\sqrt{F_\phi} ; \quad (6.4)$$

$$F_1 = F_\phi / N , \text{ м}^2. \quad (6.5)$$

Общее количество секций фильтров  $N$  должно быть не менее четырех: один в резерве, один на промывке и два рабочих. По рассчитанной площади  $F_1$  принимаются размеры в плане одного фильтра.

6. Принимается количество секций фильтров, находящихся в ремонте  $N_p$ : один или более. Рассчитывается скорость фильтрования воды при форсированном режиме работы (т. е. при отключении фильтров на промыву и ремонт)  $v_{\phi.\phi}$ :

$$v_{\phi.\phi} = \frac{v_\phi N}{N - N_p} , \text{ м}/\text{с}. \quad (6.6)$$

Рассчитанное значение должно быть не более табличного значения (табл. 2). В противном случае изменяют количество рабочих фильтров.

7. При необходимости далее рассчитываются распределительная и дренажная системы фильтров, в соответствии с требованиями СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» или по [3, стр. 78–79].

## II. Фильтры с плавающей загрузкой

1. По формуле (6.1) определяется расчетный расход сточной воды, подаваемой на фильтры  $Q_\phi$ .

2. Принимается продолжительность фильтроцикла  $T_\phi$ , равная 24 ч или 12 ч, для доочистки биологически очищенных городских или производственных сточных вод. Находится по формуле (6.2) количество промывок каждого фильтра за сутки  $n$ .

3. Рассчитывается общая площадь фильтров  $F_\phi$ :

$$F_\phi = F_\phi / v_\phi, \text{ м}^2, \quad (6.7)$$

где  $v_\phi$  – скорость фильтрования при нормальном режиме, равная 8–10 м/ч.

4. По формулам (6.4) определяется число секций фильтров  $N$  и площадь одной секции фильтра  $F_I$ . Принимаются размеры в плане одного фильтра.

5. Принимается количество секций фильтров, находящихся в ремонте  $N_p$ : один или более. По формуле (6.6) рассчитывается скорость фильтрования воды при форсированном режиме работы  $v_{\phi.ф}$ . Скорость  $v_{\phi.ф}$  не должна превышать скорость фильтрования при нормальном режиме  $v_\phi$  более чем на 15 %. В противном случае изменяют количество рабочих фильтров  $N$ .

6. При необходимости далее рассчитываются сборно-распределительная и дренажная системы фильтров, например, по [2, стр. 78–79].

## III. Микрофильтры

1. Определяется площадь фильтрующей поверхности  $F_{мф}$ :

$$F_{мф} = \frac{k_1 Q}{k_2 T v_\phi}, \text{ м}^2, \quad (6.8)$$

где  $Q$  – производительность очистной станции, м<sup>3</sup>/сут;

$k_1$  – коэффициент, учитывающий увеличение производительности микрофильтров за счет очистки промывной воды и равный 1,03–1,05;

$k_2$  – коэффициент, учитывающий площадь фильтрующей поверхности, расположенной над водой (при погружении барабана на 0,6 диаметра  $k_2 = 0,55$ , а при погружений на 0,7 диаметра  $k_2 = 0,63$ );

$T$  – продолжительность работы станции в течение суток, ч;

$v_\phi$  – скорость фильтрования, принимаемая равной при очистке биологически очищенных сточных вод 20–25 м/ч.

2. По табл. 18 и 19 Приложений, исходя из рассчитанной площади  $F_{mf}$  и площади фильтрации одного микрофильтра, подбирается марка и количество  $N$  микрофильтров типа МФБ, выписываются технические характеристики.

3. Принимается количество резервных микрофильтров  $N_p$ , равное 1 при количестве рабочих микрофильтров до четырех, и 2 – при большем количестве рабочих микрофильтров.

4. Находится суточное количество промывной воды  $Q_n$ :

$$Q_n = (0,03 \dots 0,04)Q, \text{ м}^3/\text{сут.} \quad (6.9)$$

Таблица 18

**Основные технические данные барабанных сеток типа БСБ [4]**

Типо-размер	Производительность, м <sup>3</sup> /ч (м <sup>3</sup> /сут)	Число поясов барабана	Площадь фильтрации, м <sup>2</sup>	Скорость вращения барабана, мин <sup>-1</sup>	Длина; ширина; высота, м	Масса, т
1,5×1,9	350 (8400)	2	3,75	2,6	3,62/1,85/2,75	2,20
1,5×2,8	550 (13200)	3	5,6	2,6	4,53/1,85/2,75	2,57
1,5×3,7	750 (18000)	4	7,5	2,6	5,45/1,85/2,75	2,86
3×2,8	1250 (30000)	3	13,0	1,7	4,55/3,16/4,24	3,10
3×3,7	1650 (39600)	4	17,5	1,7	5,46/3,16/4,24	3,40
3×4,6	2100 (50500)	5	22,0	1,7	6,38/3,16/4,24	3,80

Примечание. Число поясов барабана, площадь фильтрации, частота вращения, габариты микрофильтров и масса приведены в табл. 3.

Таблица 19

**Основные характеристики микрофильтров МФБ [4]**

Типоразмер	Размер фильтрующей ячейки, мм	Производительность	
		м <sup>3</sup> /ч	м <sup>3</sup> /сут
1,5×1,9	0,035 или 0,04×0,04	100	2400
1,5×2,8		160	3840
1,5×3,7		210	5040
3×2,8		400	9600
3×3,7		530	12720
3×4,6		660	15840

*IV. Барабанные сетки*

1. По табл. 3 Приложений, исходя из расчетной производительности очистной станции  $Q$ , м<sup>3</sup>/сут, и одной барабанной сетки, подбирается марка и количество  $N$  барабанных сеток типа БСБ, выписываются их технические характеристики.

2. Принимается количество резервных сеток  $N_p$ , равное 1 при количестве рабочих сеток до шести, и 2 – при большем количестве рабочих сеток.

3. Находится количество промывной воды  $Q_n$ :

$$Q_n = \frac{n_n t_n w_n Q}{144000}, \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (6.10)$$

где  $n_n$  – количество промывок в сутки, равное 8–12;

$t_n$  – продолжительность промывки, равная 5 мин;

$w_n$  – расход промывной воды, равный 0,3–0,5 %.

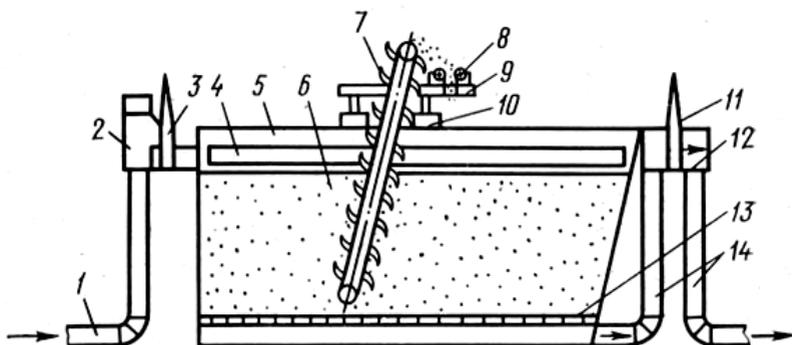


Рис. 30. Схема полиуретанового фильтра для очистки сточных вод от маслопримесей: 1, 14 – трубопровод, 2 – распределительная камера, 3, 11 – регулирующий вентиль, 4 – водораспределительное окно, 5 – фильтр, 6 – пенополиуретановая загрузка, 7 – цепной элеватор, 8 – отжимные барабаны, 9 – сборный желоб, 10 – передвижная тележка, 12 – камера для поддержания постоянного уровня очищаемой воды в фильтре, 13 – сетчатое днище

## Примеры расчета

### Пример 1

*Исходные данные.* Максимальный часовой расход городских сточных вод составляет  $q_w = 3460 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; содержание взвешенных веществ и БПК<sub>полн</sub> в биологически очищенной сточной воде соответственно  $C_{en} = 20 \text{ мг/л}$  и  $L_{en} = 15 \text{ мг/л}$ , содержание взвешенных веществ и БПК<sub>полн</sub> в воде после глубокой очистки должно быть  $C_{ex} = 5 \text{ мг/л}$  и  $L_{ex} = 10 \text{ мг/л}$ . Станция очистки работает круглосуточно.

*Задание.* Рассчитать зернистые фильтры для доочистки сточной воды.

*Расчет.* Рассчитываем необходимую степень глубокой очистки по взвешенным веществам  $\mathcal{E}_{вв}$  и БПК<sub>полн</sub>  $\mathcal{E}_{бпк}$ :

$$\mathcal{E}_{вв} = 100 \cdot (20 - 5) / 20 = 75 \%;$$

$$\mathcal{E}_{бпк} = 100 \cdot (15 - 10) / 15 = 33,33 \%.$$

По табл. 1 выбираем мелкозернистые фильтры с нисходящим потоком воды, из табл. 2 выписываем расчетные параметры фильтров:

– скорость фильтрования при нормальном режиме работы  $v_{\phi} = 6-7$  м/ч;

– скорость фильтрования при форсированном режиме работы  $v_{\phi.\phi} = 7-8$  м/ч;

– интенсивность промывки водой  $w_2 = 3-5$  л/(с·м<sup>2</sup>)  $w_3 = 7$  л/(с·м<sup>2</sup>);

– продолжительность промывки  $t_2 = 10-12$  мин,  $t_3 = 6-8$  мин;

– продолжительность фильтроцикла  $T_{\phi} = 12$  ч.

По формуле (6.1) определяем расчетный расход сточный воды, подаваемой на фильтры:

$$Q_{\phi} = 20,4 \cdot 3460 = 70584 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

По формуле (6.2) находим количество промывок каждого фильтра за сутки:

$$n = 24/12 = 2.$$

По формуле (6.3) рассчитываем общую площадь фильтров:

$$F_{\phi} = \frac{70584 (1 + 0,005)}{7(24 - 2 \cdot 20 / 60) - 0,06 \cdot 2(18 \cdot 8 + 5 \cdot 12 + 7 \cdot 8)} = 536,9 \text{ м}^2.$$

По формулам (6.4–6.5) определяем число секций фильтров  $N$  и площадь одной секции фильтра  $F_I$ :

$$N = 0,5 \sqrt{536,9} = 11,58 \approx 12 \text{ шт.}; F_I = 536,9 / 12 = 44,73 \text{ м}^2.$$

Принимаем размеры в плане одного фильтра  $6 \times 7,5$  м. Количество секций фильтров, находящихся в ремонте  $N_p = 1$ .

По формуле (6.6) определяем скорость фильтрования воды при форсированном режиме работы:

$$v_{\text{ф.ф}} = \frac{7 \cdot 12}{12 - 1} = 7,64 \text{ м/с}.$$

Это значение не больше табулированного (7–8 м/с), следовательно, количество секций фильтров рассчитано правильно.

### Пример 2

*Исходные данные.* Максимальный часовой расход городских сточных вод составляет  $q_w = 2100 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; содержание взвешенных веществ и БПК<sub>полн</sub> в очищенной сточной воде после аэротенков и вторичных отстойников соответственно  $C_{en} = 25 \text{ мг/л}$  и  $L_{en} = 20 \text{ мг/л}$ , содержание взвешенных веществ и БПК<sub>полн</sub> в воде после глубокой очистки должно быть  $C_{ex} = 5 \text{ мг/л}$  и  $L_{ex} = 5 \text{ мг/л}$ . Станция очистки работает круглосуточно.

*Задание.* Рассчитать зернистые фильтры для глубокой очистки сточной воды.

*Расчет.* Рассчитываем необходимую степень глубокой очистки по взвешенным веществам  $\mathcal{E}_{\text{вв}}$  и БПК<sub>полн</sub>  $\mathcal{E}_{\text{бнк}}$ :

$$\mathcal{E}_{\text{вв}} = 100 \cdot (25 - 5) / 25 = 80\%; \quad \mathcal{E}_{\text{бнк}} = 100 \cdot (20 - 5) / 20 = 75\%.$$

По табл. 1 находим, что требуемую высокую степень очистки могут обеспечить только аэрируемые фильтры. Из табл. 2 выписываем расчетные параметры фильтров:

– скорость фильтрования при нормальном режиме работы  $v_{\text{ф}}$   
 $= 6\text{--}7 \text{ м/ч}$ ;

– скорость фильтрования при форсированном режиме работы  
 $v_{\text{ф.ф}} = 7\text{--}8 \text{ м/ч}$ ;

– интенсивность промывки водой  $w_3 = 16\text{--}18 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ ;

– продолжительность промывки  $t_3 = 7\text{--}8 \text{ мин}$ ;

– продолжительность фильтроцикла  $T_{\text{ф}} = 24 \text{ ч}$ .

По формуле (6.1) определяем расчетный расход сточной воды, подаваемой на фильтры:

$$Q_{\phi} = 20,4 \cdot 2100 = 42840 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

По формуле (6.2) находим количество промывок каждого фильтра за сутки:

$$n = 24/24 = 1.$$

По формуле (6.3) рассчитываем общую площадь фильтров:

$$F_{\phi} = \frac{42840 (1 + 0,005)}{7(24 - 1 \cdot 20/60) - 0,06 \cdot 1(0 \cdot 0 + 0 \cdot 0 + 18 \cdot 8)} = 274,18 \text{ м}^2.$$

По формулам (6.4–6.5) определяем число секций фильтров  $N$  и площадь одной секции фильтра  $F_1$ :

$$N = 0,5 \sqrt{274,18} = 8,28 \approx 8 \text{ шт.};$$

$$F_1 = 274,18 / 8 = 34,27 \text{ м}^2.$$

Принимаем размеры в плане одного фильтра  $5 \times 7$  м. Количество секций фильтров, находящихся в ремонте  $N_p = 1$ .

По формуле (6.6) определяем скорость фильтрования воды при форсированном режиме работы:

$$v_{\phi.\phi} = \frac{7 \cdot 8}{8 - 1} = 8 \text{ м/с.}$$

Это значение не больше табулированного (7–8 м/с), следовательно, количество секций фильтров рассчитано правильно.

## Задания для самостоятельного выполнения

### Задача 1.

*Исходные данные.* Максимальный часовой расход городских сточных вод составляет  $3800 \text{ м}^3/\text{ч}$ , содержание взвешенных веществ и БПК<sub>полн</sub> в очищенной сточной воде после аэротенков соответственно  $23 \text{ мг/л}$  и  $13 \text{ мг/л}$ , содержание взвешенных веществ и БПК<sub>полн</sub> в очищенной сточной воде после глубокой очистки должно быть  $5 \text{ мг/л}$  и  $10 \text{ мг/л}$ . Станция работает круглосуточно.

*Задание.* Рассчитать зернистый фильтр для доочистки сточных вод (тип загрузки и работы фильтра выбираются произвольно).

### Задача 2.

*Исходные данные.* Максимальный часовой расход городских сточных вод составляет  $4810 \text{ м}^3/\text{ч}$ , содержание взвешенных веществ и БПК<sub>полн</sub> в очищенной сточной воде после аэротенков и вторичных отстойников соответственно  $15 \text{ мг/л}$  и  $20 \text{ мг/л}$ , содержание взвешенных веществ и БПК<sub>полн</sub> в очищенной сточной воде после глубокой очистки должно быть  $10 \text{ мг/л}$  и  $10 \text{ мг/л}$ . Станция работает круглосуточно.

*Задание.* Рассчитать фильтр для глубокой очистки с плавающей пенополистирольной загрузкой.

### Задача 3.

*Исходные данные.* Производительность станции доочистки на очистной станции канализации города составляет  $61000 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Станция работает круглосуточно.

*Задание.* Рассчитать барабанные сетки для станции доочистки.

## Контрольные вопросы

1. Область применения фильтрационных сооружений.
2. Основные элементы фильтровальной станции.
3. Классификация фильтров.
4. Основные технологические параметры фильтров.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев, М.И. Сооружения и способы очистки природных сточных вод / М.И. Алексеев. – Л.: ЛИСИ, 1990. – 93 с. – Текст: непосредственный.

2. Алексеев, М.И. Водоснабжение, канализация, рациональное использование и охрана водных ресурсов / М.И. Алексеев. – М.: Высшая школа, 1993. – 271 с. – Текст: непосредственный.

3. Ворон, Л.В. Водоснабжение и водоотведение промышленных предприятий / Л.В. Ворон. – Новокузнецк: 2003. – 38 с. – Текст: непосредственный.

4. Журба, М.Г. Водозаборно-очистные сооружения и устройства: учебное пособие для студентов ВУЗов / М.Г. Журба. – М.: АСТ, 2003. – 574 с. – Текст: непосредственный.

5. Забелина, Г.А. Подготовка и очистка производственной воды промышленных предприятий / Г.А. Забелина. – Новокузнецк: 2003. – 29 с. – Текст: непосредственный.

6. Заломнова, О.Н. Природопользование: учебное пособие / О.Н. Заломнова. – М.: 2006. – 54 с. – Текст: непосредственный.

7. Москаленко, А.П. Экономика природопользования и охраны окружающей среды: учебное пособие / А.П. Москаленко. – М.: ИКЦ МарТ, 2003. – 224 с. – Текст: непосредственный.

8. Нечаев, А.П. Очистка сточных вод и их использование в замкнутых системах водного хозяйства промышленных предприятий / А.П. Нечаев. – М.: 1988. – 141 с. – Текст: непосредственный.

9. Очистка сточных вод при сбросе в водоемы и повторном использовании. – М.: 1988. – 149 с. – Текст: непосредственный.

10. Писаренко, В.Н. Оценка технологической эффективности работы очистных сооружений: конспект лекций / В.Н. Писаренко. – Киев, 1990. – 39 с. – Текст: непосредственный.

11. Попов, М.А. Природоохранные сооружения / М.А. Попов, И.С. Румянцев. – Москва : КолосС, 2005. – 519 с. (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений) – Текст: электронный.

12. Проектирование сооружений для очистки сточных вод: справочное пособие к СНиП. – М.: Стройиздат, 1990. – 67 с. – Текст: непосредственный.

13. Репин, Б.Н. Водоснабжение и водоотведение. Наружные сети и сооружения / Б.Н. Репин. – М.: Высшая школа, 1995. – 431 с. – Текст: непосредственный.

14. Родионов, А.И. Технологические процессы экологической безопасности. Гидросфера: учебник для вузов / А.И. Родионов, В.Н. Клушин, В.Г. Систер. – 5-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2024. – 283 с. – Текст: непосредственный.

15. Экономика природопользования: методическое пособие. – Ижевск: ИжГТУ, 2006. – 50 с. – Текст: непосредственный.

16. Яковлев, С.В. Водоотводящие системы промышленных предприятий / С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов. – М.: Стройиздат, 1990. – 165 с. – Текст: непосредственный.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

Таблица 1

**Производительность и эффект осветления  
различных отстойников**

Отстойники	Производительность очистной станции, тыс. м <sup>3</sup> /сут	Эффект осветления, %
Горизонтальные	15–100	50–60
Вертикальные		40
с нисходяще-восходящим потоком	2–20	60–65
Радиальные	свыше 20	50–55
С вращающимся сборно-распределительным устройством		80
Тонкослойные	свыше 20	65

Таблица 2

**Расчетные параметры первичных отстойников**

Отстойник	Кэфф. использ. объема $K_{set}$	Рабочая глубина отстойной части $H_{set}$ , м	Ширина $B_{set}$ , м	Скорость рабочего потока $v_w$ , мм/с	Уклон днища к иловому приямку
Горизонтальный	0,50	1,5–4,0	$2H_{set}-5H_{set}$	5–10	0,005–0,05
Радиальный	0,45	1,5–5,0	-	5–10	0,005–0,05
Вертикальный	0,35	2,7–3,8	-	-	-
С вращающимся сборно-распределительным устройством	0,85	0,8–1,2	-	-	0,05
С нисходяще-восходящим потоком	0,65	2,7–3,8	-	$2u_0-3u_0$	-
С тонкослойными блоками:					
- противоточная (прямоточная) схема работы	0,5–0,7	0,025–0,2	2–6	-	-
- перекрестная схема работы	0,8	0,025–0,2	1,5	-	0,005

Примечания: 1. Коэффициент  $K_{set}$  определяет гидравлическую эффективность отстойника и зависит от конструкции водораспределительных и водосборных устройств; указывается организацией разработчиком.  
 2. Величину турбулентной составляющей  $v_{tb}$ , мм/с, в зависимости от скорости рабочего потока  $v_w$ , мм/с, надлежит определять по табл. 4 приложений.

Таблица 3

**Продолжительность отстаивания воды в зависимости от эффекта ее осветления**

Эффект осветления, %	Продолжительность отстаивания $t_{set}$ , с, в слое $h_1 = 500$ мм при концентрации взвешенных веществ, мг/л		
	200	300	400
20	600	540	480
30	960	900	840
40	1440	1200	1080
50	2160	1800	1500
60	7200	3600	2700
70	-	-	7200

Таблица 4

**Турбулентная составляющая в зависимости от скорости рабочего потока**

Скорость рабочего потока $v_w$ , мм/с	5	10	15
Турбулентная составляющая $v_{tb}$ , мм/с	0,0	0,05	0,1

Таблица 5

**Основные параметры типовых первичных горизонтальных отстойников**

Номер типового проекта	Размеры отделения, м			Число отделений в типовой компоновке	Расчетный объем отстойника, м <sup>3</sup>	Пропускная способность, м <sup>3</sup> /ч, при времени отстаивания 1,5 ч
	ширина	длина	глубина зоны отстаивания			
902-2-305	6	24	3,15	4	1740	1160
902-2-304	6	24	3,15	6	2610	1740

902-2-240	9	30	3,10	4	3200	2130
902-2-241	9	30	3,10	6	4800	3200
902-2-242	9	30	3,1	8	6400	4260

Таблица 6

**Основные параметры типовых вертикальных первичных отстойников с впуском воды через центральную трубу**

Номер типового проекта	Материал	Диаметр, м	Строительная высота, м		Пропускная способность, м <sup>3</sup> /ч, при времени отстаивания 1,5 ч
			цилиндрической части	конической части	
902-2-19	монолитный	4	4,1	1,8	31,0
902-2-20	железобетон	6	4,1	2,8	69,5
902-2-165	сборный	6	4,2	3,3	69,5
902-2-166	железобетон	9	4,2	5,1	156,5

Таблица 7

**Унифицированные размеры первичных радиальных отстойников из сборного железобетона**

Диаметр, м	Глубина зоны отстаивания, м	Расчетный объем зоны, м <sup>3</sup>		Пропускная способность, м <sup>3</sup> /ч, при времени отстаивания 1,5 ч
		осадка	отстойной	
18	3,10	120	788	550
24	3,10	210	1400	930
30	3,10	340	2190	1460
40	3,65	710	4580	3054
50	4,70	1180	9220	6150
54	5,70	1370	10500	7000

Таблица 8

**Основные параметры типовых вертикальных вторичных отстойников с впуском воды через центральную трубу**

Номер типового проекта	Материал	Диаметр, м	Строительная высота, м		Пропускная способность, м <sup>3</sup> /ч, при времени отстаивания, ч	
			цилиндрической части	конической части	1,5	
					1,0	
902-2-23	монолитный железобетон	4	2,1	1,8	-	22,1
902-2-24		6	3,0	2,8	49,7	-
	2,1		-		49,7	
902-2-167	сборный	6	3,0	3,3	49,4	-
902-2-168	железобетон	9	3,0	5,1	111,5	-

Таблица 9

**Основные расчетные параметры вторичных радиальных отстойников**

Диаметр, м	Гидравлич. глубина, м	Глубина зоны отстаивания, м	Высота иловой зоны, м	Объем зоны, м <sup>3</sup>		Пропускная способность, м <sup>3</sup> /ч, при времени отстаивания 1,5 ч
				иловой	отстойной	
18	3,70	3,10	0,6	160	788	525
24	3,70	3,10	0,6	280	1400	933
30	3,70	3,10	0,6	440	2190	1460
40	4,35	3,65	0,7	915	4580	3053
50	5,30	4,30	0,7	1380	9020	5989

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1. СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ .....	5
Теоретическая часть .....	5
Методика оценки эффективности использования воды на предприятии. Лимиты её забора промышленными предприятиями .....	9
Задания для самостоятельного выполнения.....	14
Контрольные вопросы .....	15
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2. РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕШЕТКИ.....	16
Теоретическая часть .....	16
Методические указания.....	23
Задания для самостоятельного выполнения.....	25
Контрольные вопросы .....	27
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3. РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЕСКОЛОВКИ.....	28
Теоретическая часть .....	28
Методические указания.....	34
Задания для самостоятельного выполнения.....	44
Контрольные вопросы .....	46
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4. РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ОТСТОЙНИКОВ.....	47
Теоретическая часть .....	47
Классификация и конструкции вторичных отстойников... ..	55
Методические указания. Расчет отстойников.....	58
Задания для самостоятельного выполнения.....	81
Контрольные вопросы .....	82
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5. РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕФТЕЛОВУШКИ .....	83
Теоретическая часть .....	83
Методические указания.....	84
Задание для самостоятельного выполнения.....	86

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6. РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИОН- НЫХ ПАРАМЕТРОВ ФИЛЬТРОВ.....	87
Теоретическая часть .....	87
Методические указания.....	88
Примеры расчета.....	97
Задания для самостоятельного выполнения.....	101
Контрольные вопросы .....	101
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ ЛИТЕРАТУРЫ.....	102
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	104

*Учебное издание*

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ  
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД**

Учебно-методическое пособие  
для бакалавров, обучающихся  
по направлению 20.03.02  
«Природообустройство и водопользование»

Составители:

Дружакина Ольга Павловна  
Бухарина Ирина Леонидовна  
Борисова Елена Анатольевна  
Ведерников Константин Евгеньевич  
Пашкова Анна Сергеевна  
Самигуллина Гузалия Закирзяновна  
Лебедева Мария Аркадьевна

*Авторская редакция*

*Компьютерная верстка: Т.В. Опарина*

Издательство «Удмуртский университет»  
426034, г. Ижевск, ул. Ломоносова, 4Б, каб. 021  
Тел. +7 (3412) 916-364, e-mail: editorial@udsu.ru