

## **Модуль 8. Технологии природопользования, охраны природных ресурсов, биотехнологии**

### **ПРАКТИЧЕСКИЙ БЛОК**

#### ***Практическая работа***

#### **ТЕМА. Санитарно-гигиенический анализ природных и сточных вод**

**Цель работы:** ознакомиться с существующими методами очистки сточных вод от взвешенных веществ.

**Задачи:**

- 1) Изучить методику пробного коагулирования. Провести очистку сточной воды от взвешенных веществ с использованием разных коагулянтов.
- 2) Определить оптимальные дозы коагулянтов.

**Требования к организации рабочего места обучающегося:**

фотоэлектроколориметр КФК-2МП; 2 кюветы; мерный цилиндр вместимостью 50 мл (1 шт.); пробирки вместимостью 50 мл (5 шт.); градуированные пипетки вместимостью 1 мл и 2 мл (по 1 шт.); набор пробок; 2 %-ный раствор сульфата алюминия или хлорида железа (III).

**Место проведения работы:** *учебная лаборатория БНТУ факультета энергетического строительства.*

**Требования техники безопасности:** необходимо соблюдать требования техники безопасности при работе с лабораторным оборудованием.

#### *Cодержание*

#### **Общая характеристика сточных вод**

Многообразие промышленных производств, огромное число промышленных продуктов, применяемых и получаемых в технологических процессах, обусловливают образование различных сточных вод, загрязненными всевозможными органическими и неорганическими веществами.

Сточная вода – это вода, бывшая в бытовом, производственном или сельскохозяйственном употреблении, а также прошедшая через какую-либо загрязненную территорию. В зависимости от условий образования сточные воды делятся на хозяйствственно-бытовые, производственные и поверхностные.

**Бытовые СВ** – это сточные воды, образующиеся в результате разбавления водой отходов хозяйственной и физиологической деятельности человека и отводимые в систему канализации. По составу они схожи с городскими сточными водами.

**Дождевые СВ** – это сточные воды, образующиеся в результате выпадения атмосферных осадков. При сильном загрязнении территории они могут быть загрязнены специфическими продуктами производства, взвешенными веществами минерального и органического происхождения, а также нефтепродуктами.

**Воды сточные поверхностные:** сточные воды, образующиеся при выпадении атмосферных осадков, таянии снега, поливомоечных работах на территориях населенных пунктов, промышленных предприятий, строительных площадок и других объектов.

**Производственные СВ** – воды, образующиеся в технологическом процессе.

Почти на каждом крупном современном предприятии производственные сточные воды подразделяют на ряд категорий в зависимости от особенностей технологических процессов производства, состава сточных вод, условий отведения, очистки и дальнейшего их использования.

В наиболее общем виде производственные сточные воды подразделяют на следующие категории.

**По степени загрязненности:**

а) **неочищенные:** не прошедшие очистку;

б) **нормативно очищенные:** Очищенные **сточные воды**, не приводящие к превышению установленных нормативов качества воды в контрольном створе или пункте водопользования при их выпуске в водный объект;

в) **нормативно чистые:** производственные СВ отведение которых без очистки не приводит к нарушению требований, предъявляемых при сбросе в систему канализации или водный объект (например, охлаждающая вода, незагрязняющаяся в процессе производства – от холодильных и компрессорных аппаратов).

**По характеру загрязнений:**

1) загрязненные преимущественно минеральными примесями (предприятия металлургической, машиностроительной, рудо- и угледобывающей промышленности; заводы по производству минеральных удобрений, кислот, строительных изделий и материалов и др.). К **минеральным загрязнениям** относят песок, частицы грунта, минеральные масла, соли, кислоты, щелочи, глинистые частицы, частицы руды, шлака;

2) загрязненные преимущественно органическими примесями. Органические вещества – класс соединений, в состав которых входит углерод (за исключением карбидов, угольной кислоты, карбонатов, оксидов углерода и цианидов). **Органические загрязнения** бывают растительного происхождения (остатки овощей, фруктов, бумага, растительные масла и др. – основной элемент углерод) и животного происхождения (физиологические выделения людей и животных, остатки тканей животных, органические кислоты, клеевые вещества и пр. – основной элемент азот). Эти загрязнения содержатся в сточных водах предприятий мясной, рыбной, молочной, пищевой, целлюлозно-бумажной, химической, микробиологической промышленности; заводов по производству пластмасс, каучука и др.;

3) загрязненные минеральными и органическими примесями (предприятия нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, нефтехимической, текстильной, легкой, фармацевтической промышленности; заводы по производству консервов, сахара, продуктов органического синтеза, бумаги, витаминов и др.).

На некоторых предприятиях образуются сточные воды, содержащие:

- ядовитые вещества (медь, мышьяк, цианиды, ртуть и т.д.) – предприятия металлургической, машиностроительной, химической, фармацевтической, лакокрасочной, деревообрабатывающей, электротехнической промышленности;
- радиоактивные вещества – предприятия горнорудной промышленности, производство керамических и фотоматериалов, атомной энергии;
- микроорганизмы, бактерии, дрожжевые и плесневые грибки и т. п. (бактериально загрязненные) – кожевенные заводы, фабрики первичной обработки шерсти.

**По наименованию основного загрязнителя:**

- а) нефтесодержащие;
- б) хромовые (например, на кожевенных заводах);
- в) вискозные (на заводах искусственного волокна);
- г) фенольные;
- д) окрашенные и т. п.

**По активной реакции среды (рН):**

- а) нейтральные – pH 6,5-8,5;
- б) кислые – pH < 6,5;
- в) щелочные – pH > 8,5.

Кислые и щелочные сточные воды в свою очередь подразделяют на:

- сильноислые pH < 6;
- слабокислые pH = 6...6,5;
- слабощелочные pH = 8...9;
- сильнощелочные pH > 9.

**По агрессивности:**

- а) слабоагрессивные (pH = 6...9);
- б) неагрессивные (pH = 6,5...8);
- в) сильноагрессивные (pH > 9).

**По отношению к биохимическому окислению:**

- а) поддающиеся биологической очистке;
- б) не поддающиеся биологической очистке.

**По физическому состоянию загрязнения** сточных вод делят на:

- растворенные (молекулярно-дисперсные частицы размером менее 0,001 мкм);
  - коллоидные (частицы размером от 0,1 до 0,001 мкм);
  - суспензии, эмульсии и пены с размерами частиц от 0,1 мм до 0,1 мкм;
  - нерастворенные вещества, находящиеся в воде в виде крупных примесей (частиц размером более 0,1 мм).

В производственных сточных водах соотношение органических и минеральных загрязнений зависит от вида перерабатываемого сырья, технологического процесса, применяемых компонентов, промежуточных изделий и продуктов, выпускаемой продукции, состава исходной свежей воды, местных условий и т.д.

Степень загрязненности сточных вод органическими компонентами

принято оценивать по массе кислорода, израсходованной для их биохимического окисления. Этот показатель называют биохимической потребностью в кислороде (БПК). БПК определяется лабораторным путем и выражается в миллиграммах кислорода на 1дм<sup>3</sup> сточной жидкости (мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> или гO<sub>2</sub>/м<sup>3</sup>). Таким образом, чем больше БПК, тем сильнее сточные воды загрязнены органическими веществами.

Для полного окисления органических веществ биохимическим путем при температуре 20 °С требуется большой промежуток времени (до 100 суток и более). Для практических целей обычно определяют двадцатисуточную (БПК<sub>20</sub>) или пятисуточную (БПК<sub>5</sub>) биохимическую потребность в кислороде.

Следует иметь в виду, что БПК<sub>полн</sub> не характеризует общее количества органических веществ, содержащихся в сточных водах, так как при ее определении не учитывается часть органических веществ, идущая на прирост аэробных бактерий, а также количество тех веществ, на минерализацию которых требуется более 20 суток, и более стойких веществ, не способных окисляться биохимическим путем.

Для более полной оценки содержания органических веществ в сточных водах определяют химическую потребность в кислороде (ХПК). ХПК называют количество кислорода, необходимое для полного окисления (т.е. перевода углерода органических соединений в углекислоту, водорода в воду, азота в аммиак, серы в серный ангидрид) всех органических загрязнений, содержащихся в сточных водах, химическими методами; выражают ХПК в миллиграммах кислорода на 1дм<sup>3</sup> воды (мгO<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>).

Разница между БПК<sub>полн</sub> и ХПК служит показателем прироста микробиальной среды и наличия стойких органических загрязнений, не затрагиваемых биохимическим процессом.

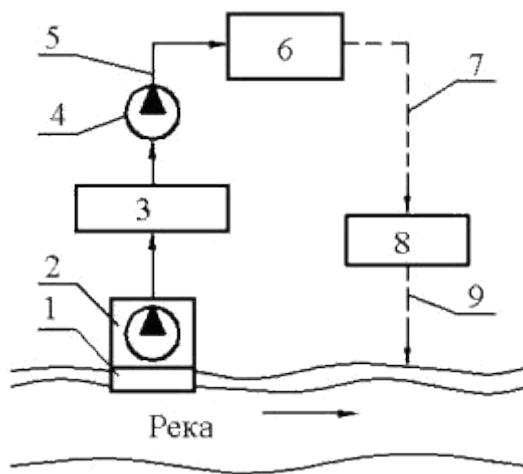
Для бытовых сточных вод БПК<sub>20</sub> примерно равна полной БПК (БПК<sub>полн</sub>), а БПК<sub>5</sub> ≈ 0,875 БПК<sub>полн</sub>, разница между БПК<sub>полн</sub> и ХПК невелика (БПК<sub>полн</sub> составляет около 86 % ХПК). Для производственных сточных вод БПК<sub>полн</sub> может составлять около 50 % и менее. Соотношение БПК<sub>полн</sub> и ХПК показывает на необходимость применения биохимической очистки сточных вод. При соотношении БПК<sub>полн</sub>/ХПК в поступающих на очистку сточных водах, равном и более 0,5, сточные воды целесообразно очищать биологическим методом, снижение этого соотношения указывает на увеличение доли инертных к биохимическому окислению и сложноокисляемых веществ. При соотношении БПК<sub>полн</sub>/ХПК в поступающих на очистку сточных водах менее 0,5, содержание в них сложноокисляемых веществ превышает допустимый предел для биологической очистки, поэтому необходимо применять физико-химическую очистку.

Существует несколько путей уменьшения количества загрязненных сточных вод, среди которых следует отметить следующие:

1. Разработка и внедрение безводных технологических процессов.
2. Усовершенствование существующих процессов.
3. Разработка и внедрение современного оборудования.
4. Внедрение аппаратов воздушного охлаждения.

5. Повторное использование очищенных сточных вод в оборотных и замкнутых системах.

При прямоточной системе на промышленных предприятиях (рисунок 1.1) вода обычно входит в состав выпускаемого фабриката или существенно изменяет свой состав, в связи с чем ее повторное использование нецелесообразно. В этом случае она передается на очистные сооружения.



1 – речной водозабор; 2 – насосная станция 1-го подъема; 3 – станция водоочистки; 4 – насосная станция 2-го подъема; 5 – подающий трубопровод;

6 – промпредприятие; 7 – трубопровод отработанной воды;

8 – станция очистки сточных вод; 9 – сброс воды в реку

Рисунок 1.1 – Прямоточная схема СПВ

При оборотных системах водоснабжения (рисунок 1.2), когда вода применяется в основном для охлаждения, в целях ее экономии оказывается целесообразным нагретую воду охлаждать и подавать для повторного использования.

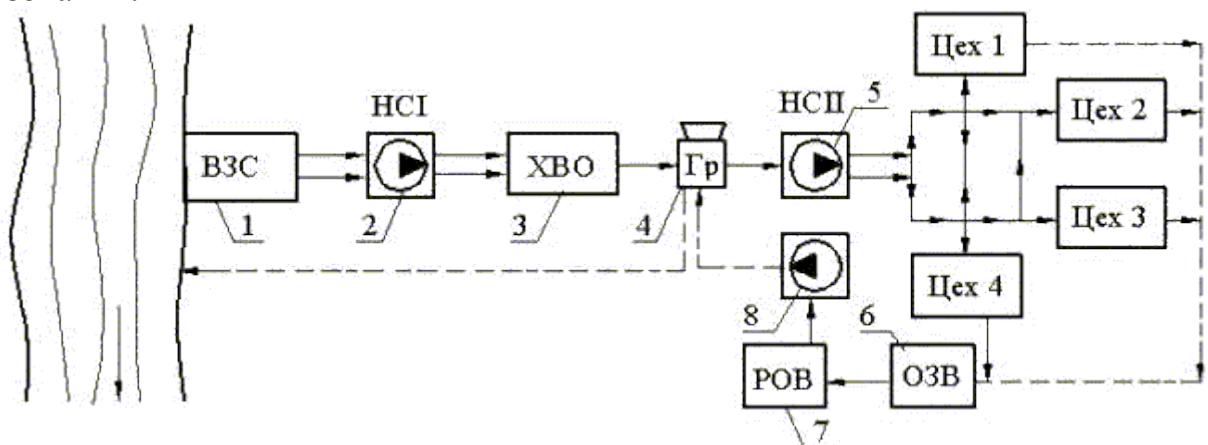


Рисунок 1.2 – Оборотная схема СПВ

1 – водозаборное сооружение; 2 – насосная станция 1-го подъема;

3 – станция очистки природной воды; 4 – охлаждающая установка;

5 – насосная станция 2 подъема; 6 – станция очистки загрязненных вод;

7 – резервуар очищенной воды; 8 – насосная станция оборотной воды

При этом из водоисточника подается до 10 % общего количества используемой воды (подпитка) для восполнения потерь (продувка) при ее обороте. Оборотную воду приходится охлаждать, подвергать некоторой очистке и кондиционировать.

В системах повторного использования (рисунок 1.3) вода, сбрасываемая одним из промышленных потребителей, может быть использована другим, что позволяет уменьшить количество воды, забираемой из водоисточника.

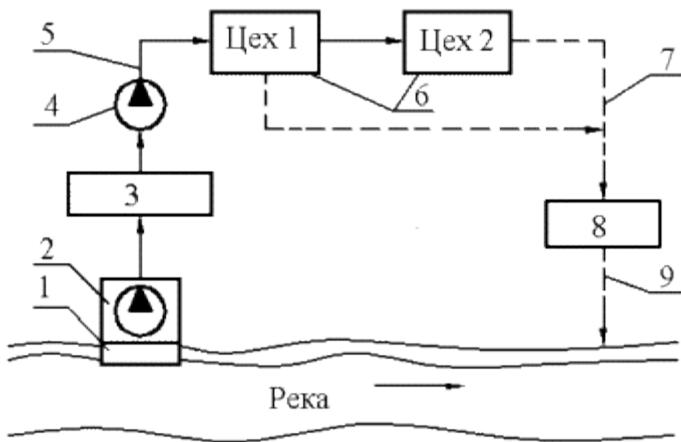


Рисунок 1.3 – Схема СПВ с повторным использованием воды

- 1** – речной водозабор; **2** – насосная станция 1-го подъема; **3** – станция водоочистки; **4** – насосная станция 2-го подъема; **5** – подающий трубопровод;
- 6** – промпредприятие; **7** – трубопровод отработанной воды;
- 8** – станция очистки сточных вод; **9** – сброс воды в реку;
- 10** – водоохраняющее устройство; **11** – сборная камера;
- 12** – насосная станция оборотной воды.

Если обратная система работает без какого-либо сброса сточных вод в природные водные объекты, то она является замкнутой.

Основным направлением уменьшения сброса сточных вод и загрязнения ими водоемов является создание замкнутых систем водного хозяйства. Под замкнутой системой водного хозяйства промышленного предприятия понимается система, в которой вода используется в производстве многократно без очистки или после соответствующей обработки, и которая исключает образование каких-либо отходов и сброс сточных вод в водоем.

Для создания замкнутых систем водоснабжения, а также перед сбросом в водоприемник промышленные сточные воды подвергаются очистке механическими, химическими, физико-химическими, биологическими и термическими методами.

Физико-химические показатели промышленных сточных вод отдельных предприятий (табл. 1.1.) свидетельствует о широком диапазоне колебаний состава этих вод, что вызывает необходимость тщательного обоснования оптимального метода очистки для каждого вида этих вод.

Таблица 1.1.

Физико-химические показатели состава сточных вод некоторых промышленных предприятий

Показатель	Деревообрабатывающая промышленность	Комбинат строительных материалов	Металлургический комбинат	Производство сульфитной целлюлозы	Гидролизный завод	Завод микробиологической промышленности
pH	6,6-7,8	7,2	8,0	3,5	6,8-7,8	7,0-8,0
Окисляемость, мгO <sub>2</sub> /л	100-500	1,3-3,5	50	235	220-250	0,4-3,6
Содержание взвешенных веществ, мг/л	75-1100	1500-3000	500	150	600-800	90-330
плотного остатка, мг/л	-	3400	600	3100	8600	1500-3100

### Методы очистки сточных вод от взвешенных веществ

Взвешенные примеси, содержащиеся в сточных водах, подразделяются на твердые и жидкые, и образуют с водой дисперсную систему. В зависимости от размера частиц дисперсные системы делят на три группы:

- 1) грубодисперсные системы с частицами размером более 0,1 мкм (сусpenзии и эмульсии);
- 2) коллоидные системы с частицами размером до 0,1 мкм (1 нм);
- 3) истинные растворы, содержащие частицы, размеры которых соответствуют размерам отдельных молекул или ионов.

Для удаления взвешенных частиц из сточных вод используют механические методы. **Механическая очистка** применяется для выделения нерастворенных примесей минерального и органического происхождения на решетках, песковых ситах, в отстойниках, гидроциклах, путем фильтрования через слои зернистого материала (песок, антрацит, керамзит, горелые породы, полистирол и т.д.) для более полной очистки СВ.

Процеживание это первичная стадия очистки сточных вод. В качестве сооружений используют решетки, сита, сетки, процеживатели, измельчители.

**Стержневые решетки** выполняются из ряда металлических пластин, расположенных параллельно друг другу и создающих плоскость с прозорами,

через которую процеживается сточная жидкость. Стержни закрепляются в специальных рамках, обеспечивающих жесткость всей решетки и фиксацию расстояния между стержнями. Устанавливаются решетки в уширенных каналах называемых камерами, по которым вода движется самотеком (рисунок 1.4).

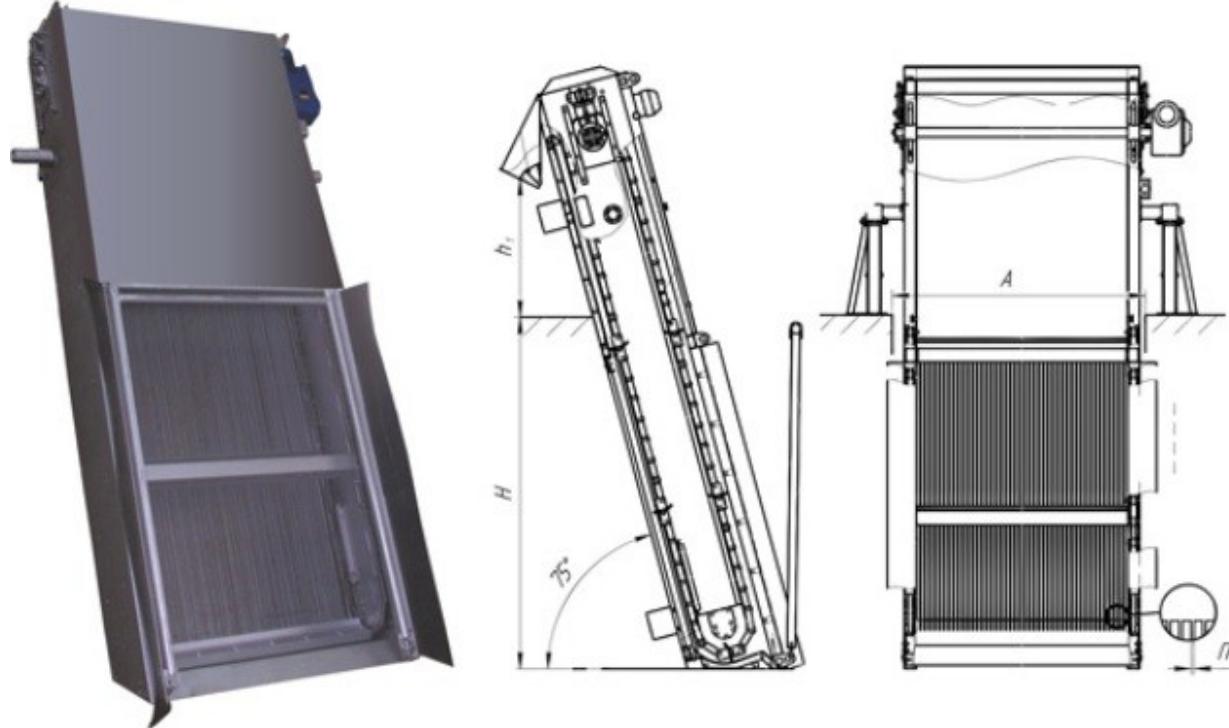


Рисунок 1.4 – Механизированная решетка



Рисунок 1.5 – Барабанная решетка

Барабанные сетки и сита следует применять для задержания крупноразмерных примесей и снижения содержания взвешенных веществ. При применении барабанных сеток для механической очистки сточных вод в исходной воде должны отсутствовать вещества, затрудняющие промывку сетки (смолы, жиры, масла, нефтепродукты), а содержание взвешенных веществ не должно превышать 250 мг/л.



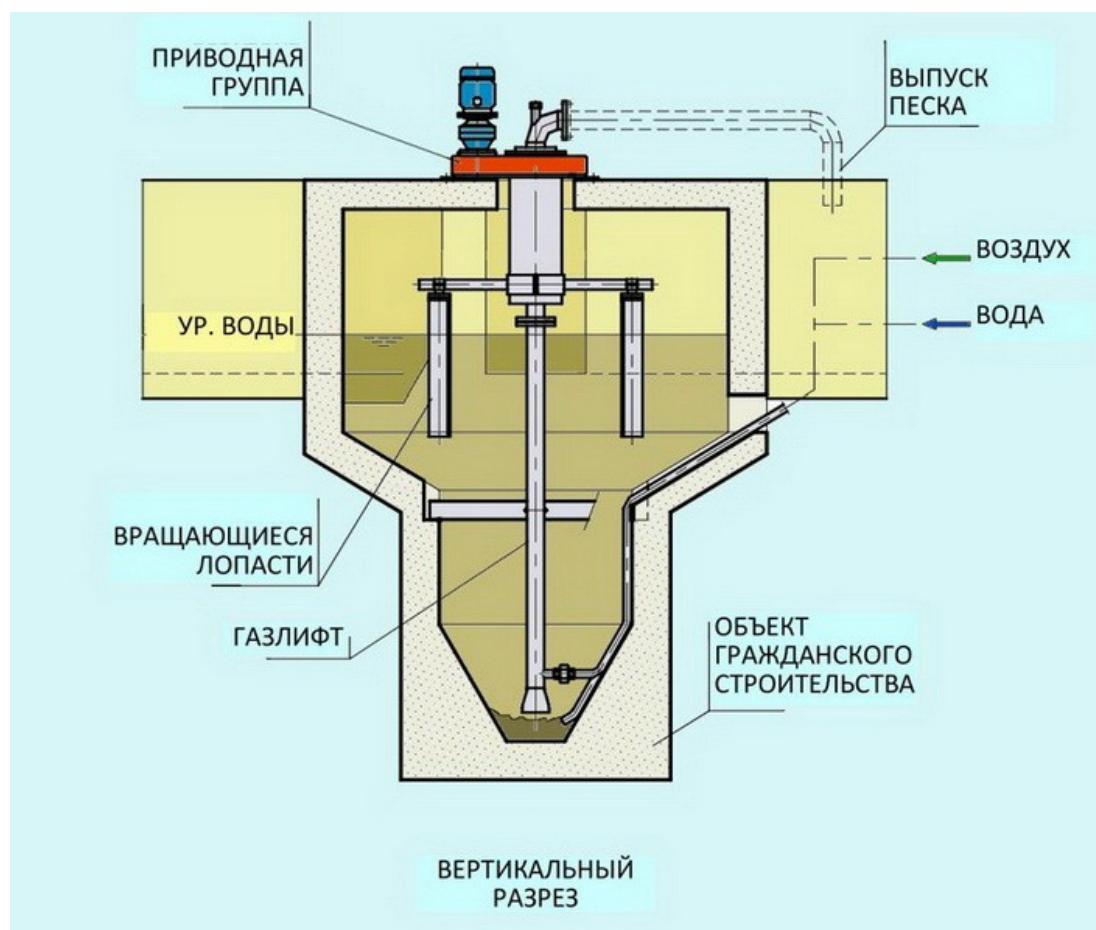
Рисунок 1.6 – Барабанное сито

Отстаивание происходит в специальных емкостях, которые по направлению движения воды делят на горизонтальные, вертикальные, радиальные и комбинированные. Общими для них являются выход очищенной воды в верхней части отстойника и гравитационный принцип осаждения частиц, которые собираются внизу.

Разновидностью отстойника являются песколовки, применяющиеся для выделения частиц песка в стоках. Тип песколовки (горизонтальная, вертикальная, тангенциальная, аэрируемая) следует принимать с учетом производительности очистных сооружений, схемы очистки сточных вод и обработки их осадков, параметров очищаемой сточной воды.



Рисунок 1.7 – Горизонтальная песколовка



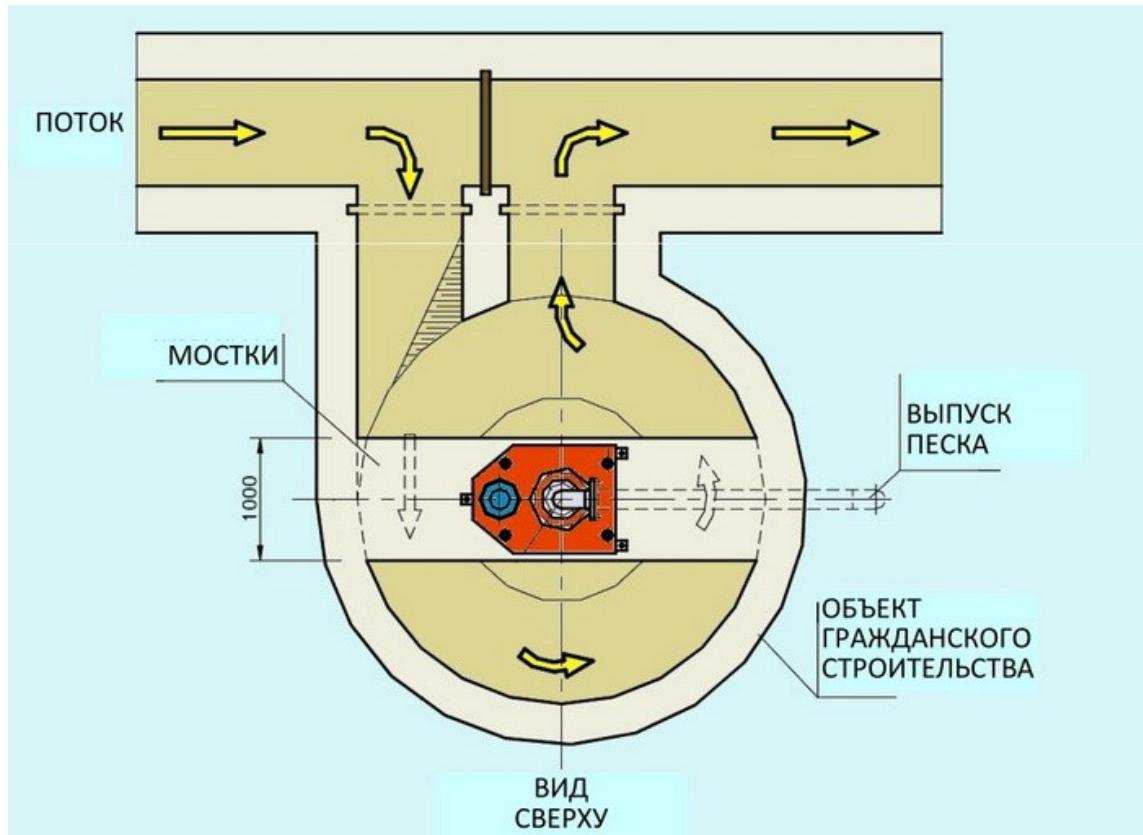


Рисунок 1.8 – Тангенциальная песколовка

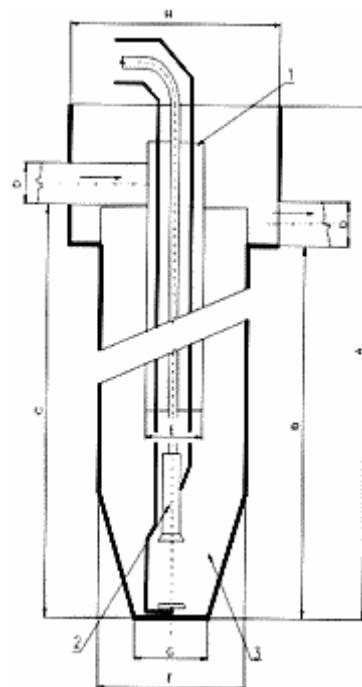




Рисунок 1.9 – Вертикальная песколовка

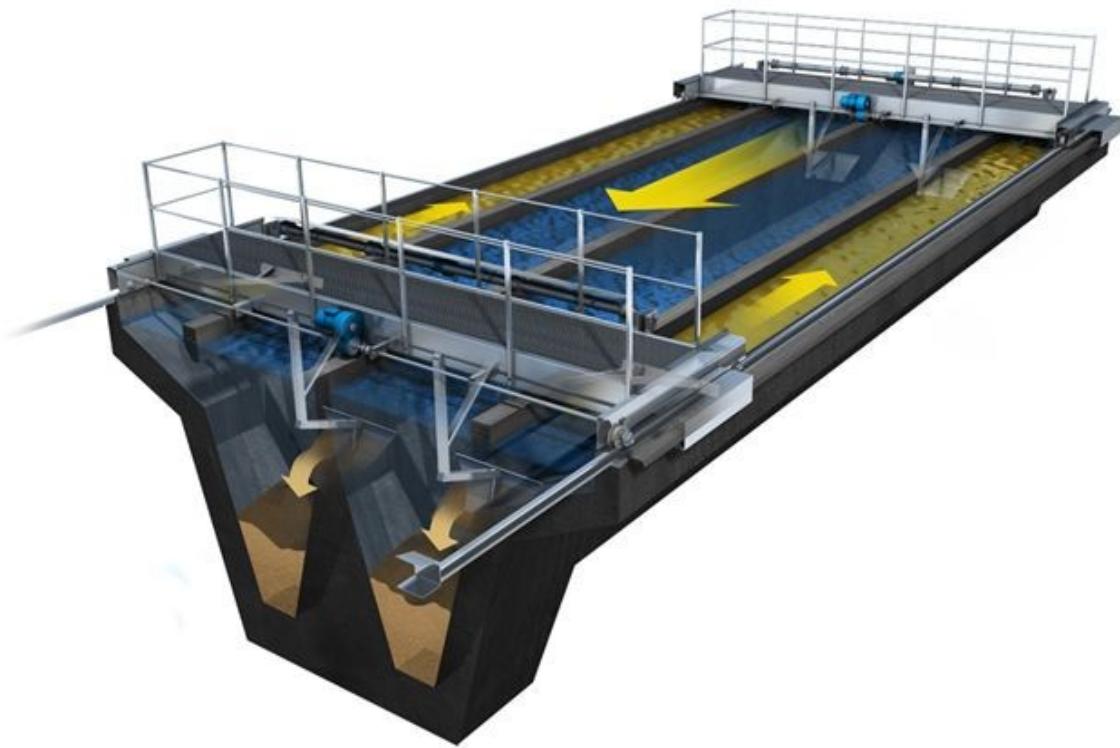


Рисунок 1.10 – Аэрируемая песколовка

Для **осветления** сточных вод следует предусматривать отстойники, механические процеживатели, масло-, нефтеловушки, жироуловители, гидроциклоны.

В схемах с биологической очисткой необходимо первичное и вторичное осветление. Первичные отстойники обычно используются для удаления взвешенных веществ и осветления стоков перед стадией биологической очистки. Иногда для улучшения работы первичных отстойников в них подают часть избыточного активного ила с аэротенков. Избыточный ил обволакивает мелкие взвеси и способствует лучшему их осаждению. Для удаления осадка отстойники оборудуются илоскребами, сокрывающими осадок в приемник отстойника.

В ряде случаев после первичных отстойников перед биологической очисткой используют преаэраторы, биокоагуляторы, осветлители. Преаэраторы применяют на станциях очистки с аэротенками; биокоагуляторы и осветлители – на станциях как с аэротенками, так и с биофильтрами. В этих сооружениях сточная вода аэрируется в течение некоторого времени, затем подвергается отстаиванию без дополнительной обработки или с внесением коагулянтов. Это приводит к дальнейшему снижению концентрации загрязнений в сточной воде, отстоенной в первичных отстойниках, а также извлекаются ионы тяжелых металлов и других загрязнений, неблагоприятно влияющие на процесс очистки.

Вторичные отстойники используются в двух целях: для осветления сточных вод после биологической очистки и для уплотнения активного ила и его рецикла на биологическую очистку (в аэротенк, в анаэробный реактор) с целью

повышения концентрации ила и окислительной (сбраживающей) способности биореактора.

Вторичные отстойники позволяют удалить основную массу ила. При нормальной эксплуатации осевший ил из вторичного отстойника удаляется илососами полностью, без скопления (застаивания) старого ила, при этом с осветленной водой выносится <1 мг/л активного ила.

Тип первичного отстойника (вертикальный, горизонтальный, радиальный, двухъярусный) следует принимать с учетом технологической схемы очистки сточных вод и обработки их осадка, производительности, очередности строительства, рельефа площадки, геологических условий, уровня грунтовых вод.

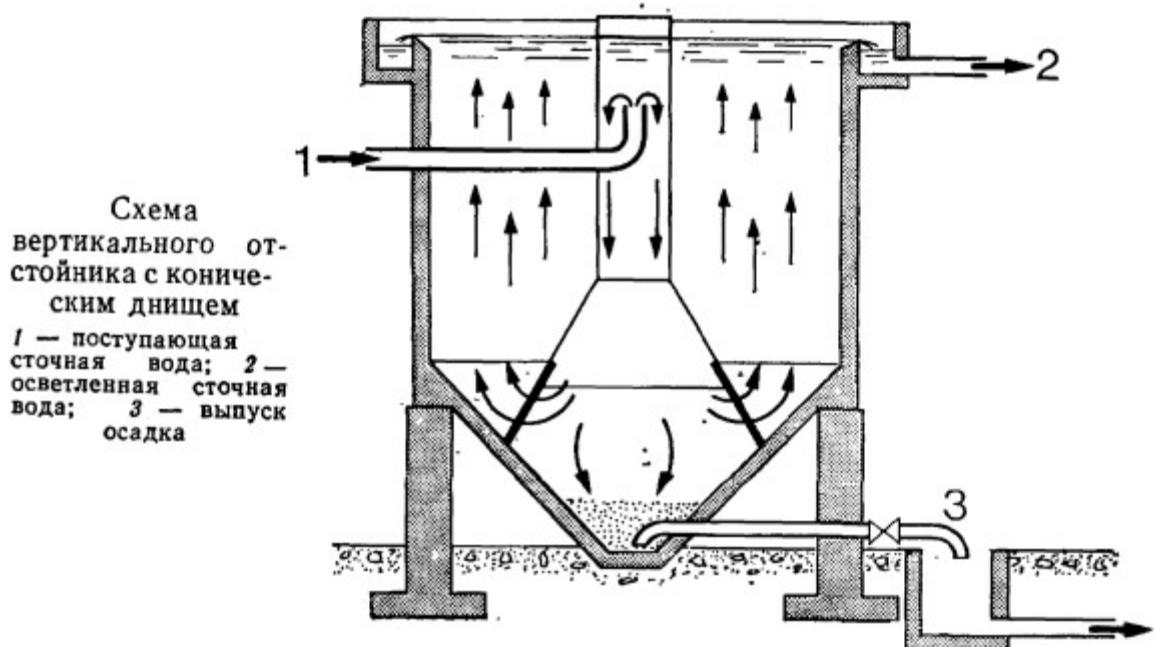


Рисунок 1.11 – Вертикальный отстойник

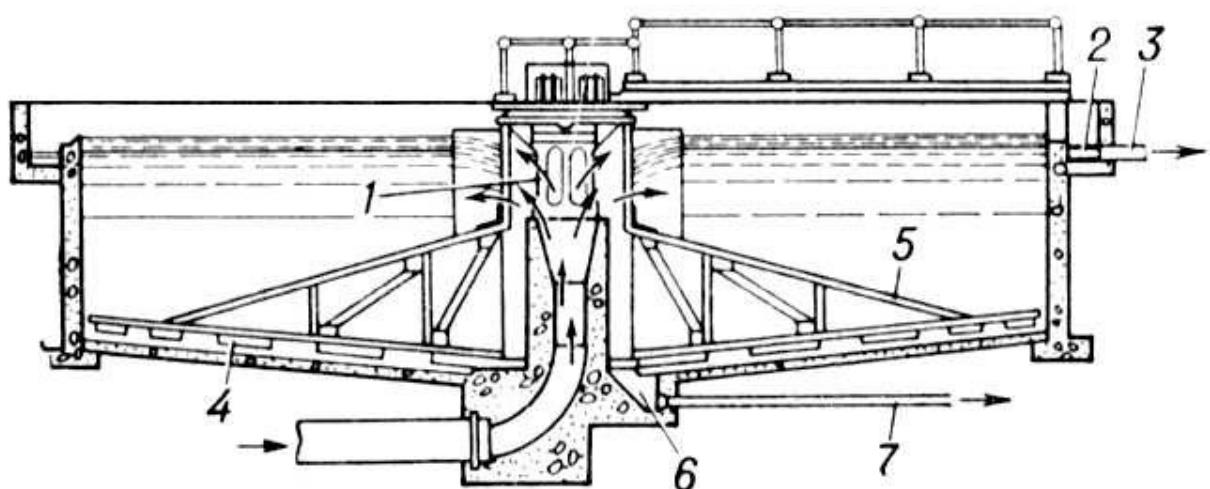


Рисунок 1.12 – Радиальный отстойник

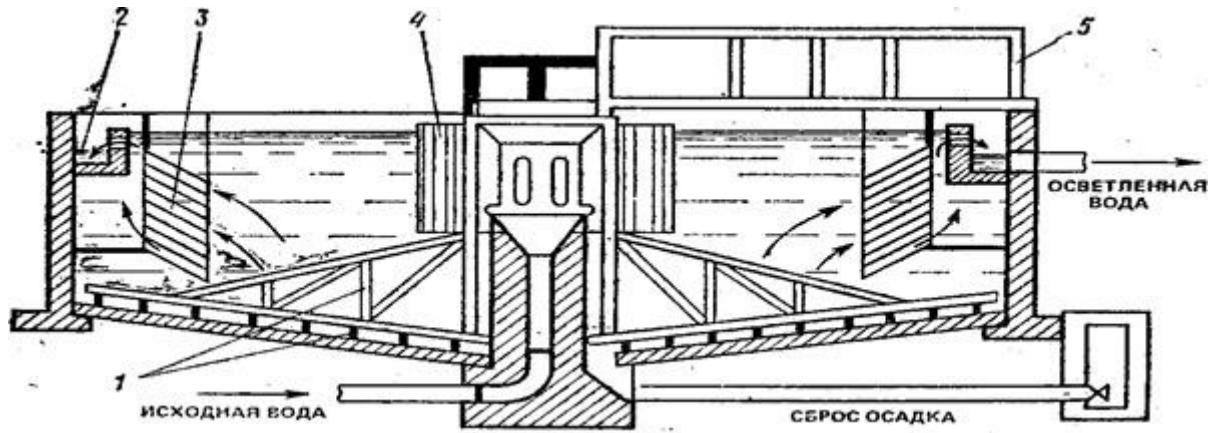


Рисунок 1.13 – Радиальный отстойник с тонкослойными блоками

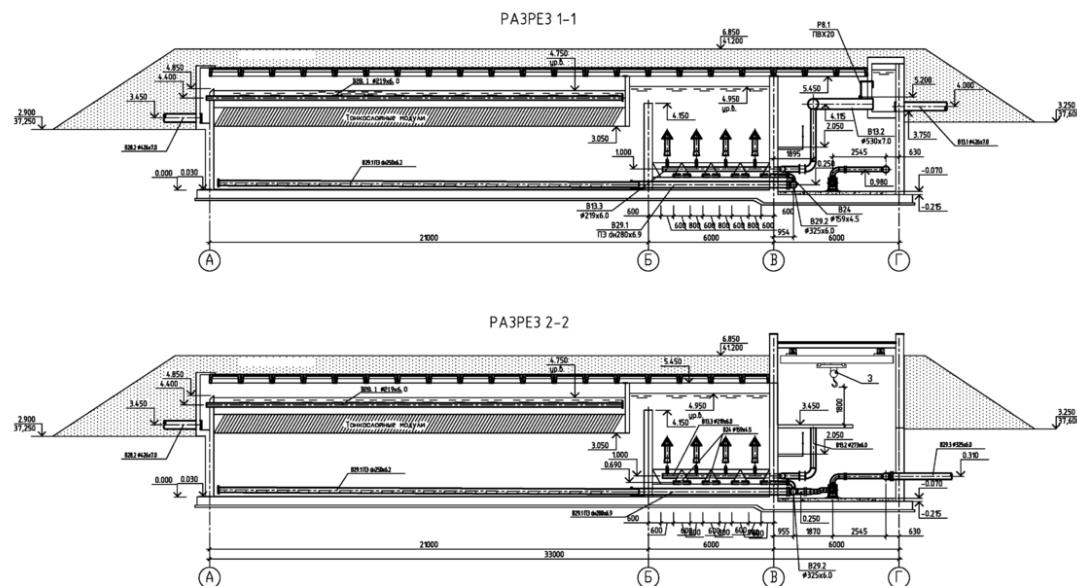


Рисунок 1.14 – Горизонтальный отстойник с тонкослойными модулями

Для доочистки сточных вод в качестве финишной операции используется фильтрование. Если сточные воды содержат небольшое количество примесей, то фильтрование может быть основным процессом. По типу фильтровальной перегородки фильтры классифицируются следующим образом:

1. Фильтры с плоской фильтровальной перегородкой;
2. Фильтры с объемной фильтровальной перегородкой с объемной загрузкой;
3. Фильтры с плавающей загрузкой;

Механическое фильтрование это пропускание воды через слой материала, между частицами которого образованы поры. Фильтры очищают воду от тонкодисперсных твердых примесей даже при небольших концентрациях. Фильтроматериалы разнообразны: кварцевый песок, гравий, антрацит и др.

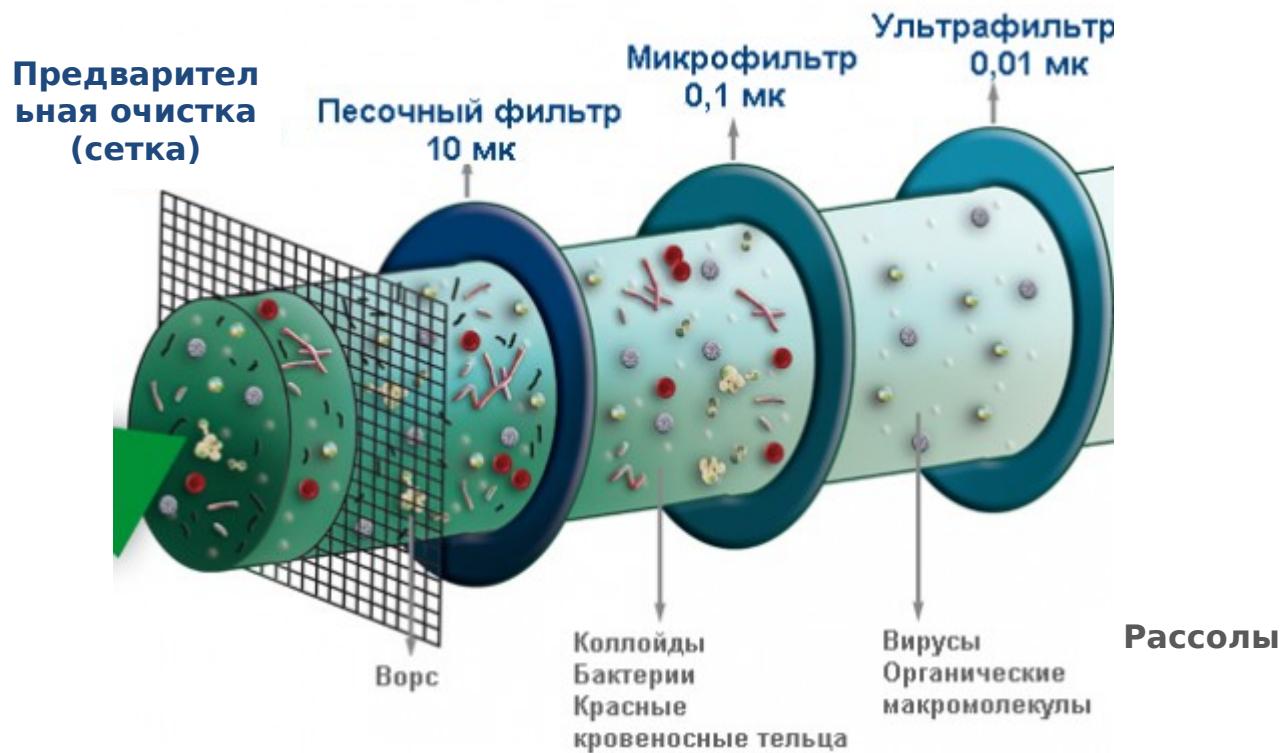


Рисунок 1.15 – Область применения фильтров

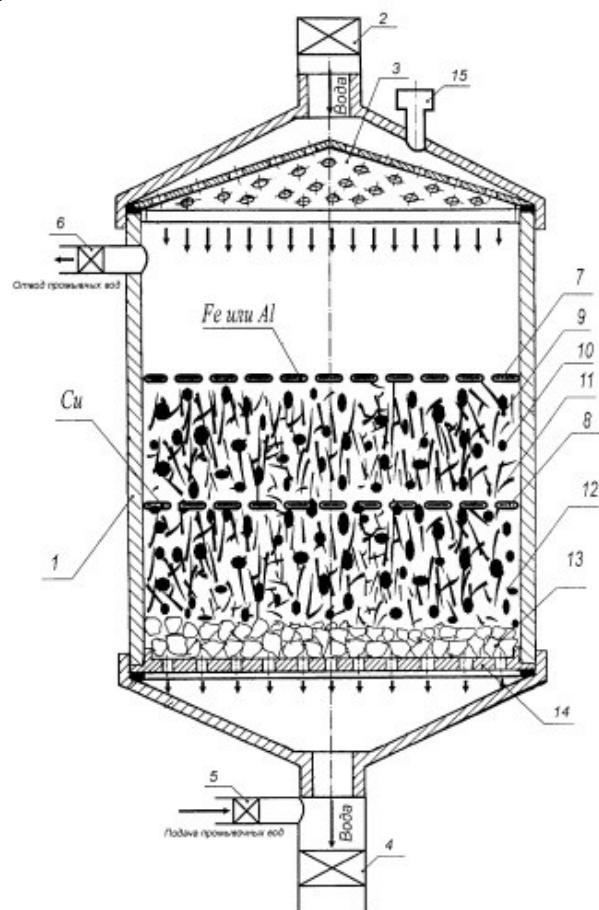




Рисунок 1.16 – Напорный фильтр

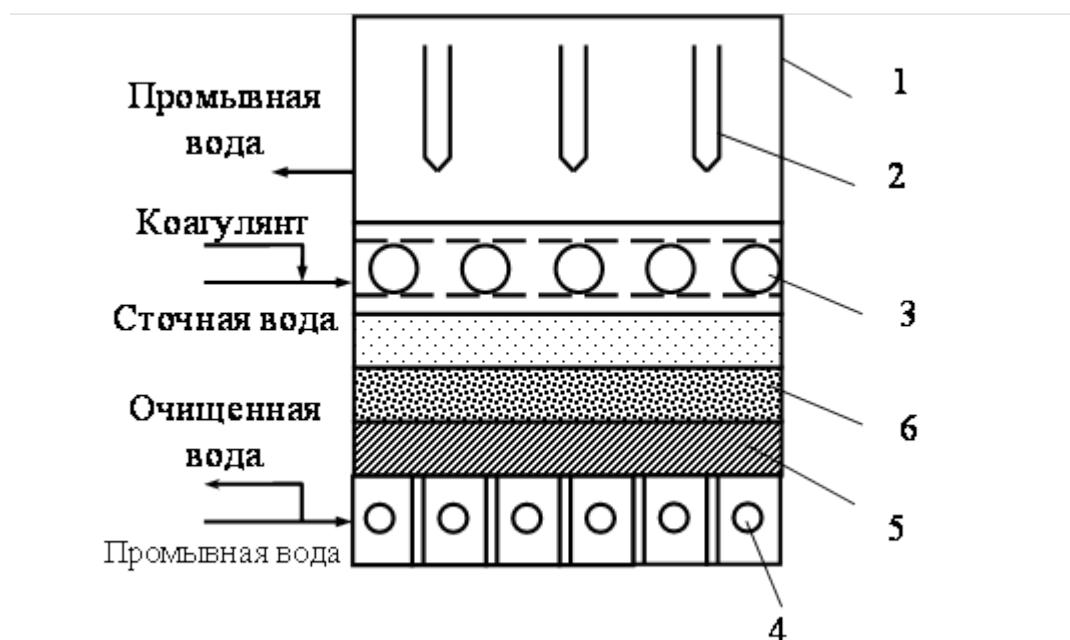


Рисунок 1.17 – Открытый фильтр

### **Коагуляция и флокуляция в процессе очистки сточных вод**

Все реагенты, применяемые в технологии коагуляционной очистки, принято разделять на коагулянты и флокулянты.

К коагулянтам относят низкомолекулярные гидролизующиеся в воде неорганические электролиты, способные нейтрализовать заряд частиц, в результате чего происходит их укрупнение.

Флокулянтами называют высокомолекулярные вещества, которые образуют хлопья за счет связывания частиц полимерными мостиками без изменения электрических свойств системы.

На сегодняшний день существует ряд композиционных реагентов, которые представляют собой многокомпонентные смеси, в состав которых могут входить

коагулянты, флокулянты и различные активные добавки. Терминология: композиционные, органо-минеральные, металл-полимерные, комплексные, смешанные. Классификация:

- композиционные неорганические коагулянты (КНК) – смеси неорганических алюминий и железосодержащих коагулянтов;
- композиционные органические флокулянты (КФ) – смеси флокулянтов с различными свойствами (молекулярной массой, величиной и знаком заряда);
- коагулирующе-флокулирующие композиции (КФК) – смеси неорганических коагулянтов, органических флокулянтов и различных активных добавок.

Одной из важнейших характеристик коллоидных растворов является их устойчивость (или неустойчивость). Под *устойчивостью* дисперсионной системы понимают способность ее сохранять постоянный размер частиц и равномерное их распределение по объему дисперсионной среды. *Неустойчивость* проявляется в стремлении частиц к слипанию с образованием крупных агрегатов. В общем смысле под коагуляцией понимают потерю агрегативной устойчивости дисперсной системой. **Коагуляция** - от лат. свертывание, затвердение - используется для разрушения устойчивых суспензий и эмульсий. Коагуляция заканчивается переводом жидкого коллоидного раствора в гель или выпадением в осадок дисперсной фазы.

Фактором, вызывающим коагуляцию, может быть любое воздействие, нарушающее агрегативную устойчивость системы – изменение температуры, перемешивание жидкости, воздействие излучения. Наиболее важный фактор – добавление коагулянтов.

**При введении в воду коагулянтов образуются малорастворимые гидроксиды металлов в виде рыхлых хлопьев, сорбирующих на своей поверхности коллоидные и растворенные в воде примеси.** Гидравлическая крупность основной массы хлопьев гидроксидов  $U_o = 0,5...1$  мм/с, что позволяет эффективно извлекать их из воды методами отстаивания и фильтрации.

В качестве коагулянтов обычно используют соли железа и алюминия – сульфат алюминия  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ , сульфат железа  $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 7H_2O$  или хлорид железа  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ . Кроме них можно использовать известь  $CaO$ , алюминат натрия  $NaAlO_2$ , гидроксохлорид алюминия  $Al_2(OH)_nCl_{6-n}$ , хлорид магния  $MgCl_2$ , сульфат магния  $MgSO_4$ . Дефицитность и высокая стоимость известных коагулянтов стимулируют поиск и замену их более дешевыми и доступными. Наибольшее распространение получили соли алюминия.

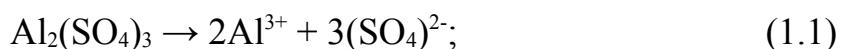
Таблица 1.2 – Состав коагулянтов на основе солей алюминия

Коагулянт	Формула	Содержание $Al_2O_3$ , %	Товарная форма
Сульфат алюминия технический	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	7,2; 10 17 9; 15-16	жидкий гранулированный кусковой
Гидроксохлорид	$Al_2(OH)_nCl_{(6-n)}$	10, 15, 18, 20	жидкий

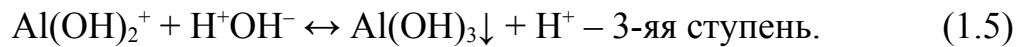
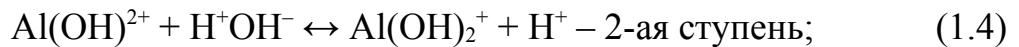
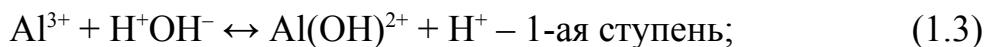
алюминия		30, 42	порошковый
Гидроксосульфат алюминия	$\text{Al}_2(\text{OH})_{2-n}(\text{SO}_4)_{3-n}$	10	жидкий
Гидроксохлорсульфат алюминия	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_2(\text{OH})\text{Cl} \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	15	твердый

Различные коагулянты, применяемые для очистки сточных вод, обеспечивают разную эффективность удаления загрязняющих веществ. Попробуем разобраться в причинах, вызывающих эти различия, на примере сульфата алюминия и гидроксохлорида алюминия.

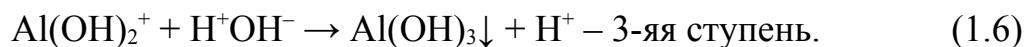
Диссоциация сульфата алюминия и гидроксохлорида алюминия происходит по следующим уравнениям



Гидролиз сульфата алюминия как кислой соли, образованной многозарядным катионом, протекает по трем ступеням



Гидроксохлорид алюминия изначально имеет в своем составе две гидроксогруппы, поэтому при введении его в раствор распадается на ионы с образованием ядра  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ , способного адсорбировать ионы загрязняющих веществ, а формирование нерастворимого гидроксида протекает по одной ступени



Ионы водорода, приводящие к понижению щелочности воды, при использовании гидроксохлорида алюминия образуются в меньшем количестве (за счет уменьшения ступеней гидролиза) и нейтрализуются гидроксид-ионами воды.

Таким образом, при коагуляции гидроксохлоридом алюминия сокращается количество ступеней гидролиза и увеличивается скорость коагуляции.

На ход процесса коагуляции существенно влияет температура воды, pH, присутствие растворенных солей и органических соединений. Оптимальная температура воды 15...20°C, при понижении температуры до 5...10°C образуются мелкие плохо оседающие хлопья. Оптимальные значения pH соответствуют

минимальной растворимости образующихся гидроксидов и для сульфата алюминия составляют 6,5...7,5. При pH меньше 4,5 гидролиз не происходит, при pH больше 8,5 образуются растворимые алюминаты. Для хлорида железа pH=6...10, для сульфата железа – более 8. Для регулирования pH сточную воду перед введением коагулянта подкисляют, подщелачивают или разбавляют. Для этого могут быть использованы образующиеся на предприятии кислые и щелочные сточные воды.

Для ускорения процесса и повышения эффекта очистки при коагуляции, получения более прочных и плотных хлопьев используются высокомолекулярные вещества – флокулянты (полиэлектролиты). В настоящее время промышленностью выпускаются различные марки флокулянтов, выбор которых производится экспериментальным путем на каждом отдельном предприятии.

Флокулянты классифицируют на:

- органические (природные и синтетические) и неорганические,
- анодного или катодного типа.

В качестве флокулянтов из природных веществ используют крахмал, водорослевую крупу, белковые гидролизные дрожжи, картофельную мезгу, альгинат натрия и др. Из синтетических анионных флокулянтов наиболее широко применяют органический полимер полиакриламид (ПАА), флокулянты серии К (К-4, К-6 и др.). Флокулянты катионного типа (ВА-2, ВА-3, ВА-102) в отличие от ПАА вызывают образование крупных хлопьев без обработки воды коагулянтами. Доза ПАА для обработки сточных вод составляет 2...10 мг/л. Среди неорганических флокулянтов наибольшее распространение получил активированный силикат натрия – активная (активированная) кремниевая кислота (АК).

Применение коагуляции связано с приготовлением раствора реагента, дозирования и перемешивания его с водой. Для этих целей в схеме очистки производственных сточных вод предусматривается реагентное хозяйство, дозаторы и смесители. Проектирование и расчеты этих устройств осуществляются так же, как и в системах водоснабжения.

В смесителях механического типа время пребывания воды принимают равным от 0,5 до 3 минут. Согласно ТКП смешение воды с реагентами при помощи механических мешалок должно осуществляться со скоростью вращения, не превышающей  $1750 \text{ мин}^{-1}$ . Линейная скорость вращения мешалок должна приниматься в пределах от 0,15 до 0,2 м/с.

Стадия градиентной коагуляции происходит в процессе более медленного и продолжительного перемешивания, осуществляемого в камерах хлопьеобразования. Эффективность коагуляции зависит от условий перемешивания воды, которые определяются продолжительностью пребывания воды в сооружении и средним градиентом скорости. Согласно ТКП время пребывания в камерах хлопьеобразования при последующем отделении скоагулированных веществ отстаиванием следует принимать до 15 минут. При применении механических камер хлопьеобразования, оборудованных перемешивающим устройством с вертикальной или горизонтальной осью

вращения, градиент скорости следует принимать от 20 до 50 с<sup>-1</sup>.

Коагулянты используют в виде 1-10% растворов, флокулянты – в виде 0,1-1% растворов.

В процедуре разработки метода интенсификации и повышения эффективности очистки сточных вод от взвешенных веществ с использованием коагулянтов и флокулянтов можно условно выделить четыре этапа:

1. Пробное коагулирование, в ходе которого выбираются наиболее эффективные коагулянты и флокулянты или их сочетание, устанавливается оптимальный расход и порядок введения реагентов.

2. Выбор режима смешения реагентов со сточной водой. При этом необходимо обеспечить быстрое и равномерное распределение реагентов в обрабатываемой воде для максимального контакта частиц загрязнения с промежуточными продуктами гидролиза коагулянтов.

3. Выбор режима хлопьеобразования. Хлопьеобразование может проходить с введением и без дополнительного введения флокулянтов. На этой стадии необходимо проводить медленное перемешивание, чтобы не разрушить образовавшиеся на предыдущих этапах первичные структуры и обеспечить образование вторичных структур (крупных агрегатов).

4. Определение параметров отделения скоагулированных загрязнений сточных вод, которые могут быть использованы при проектировании или выборе очистного оборудования. В данной работе в качестве метода очистки сточных вод от взвешенных веществ используется отстаивание - наименее энергоемкий, наиболее доступный и распространенный метод.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### **Определение оптимальных доз коагулянтов (пробная коагуляция)**

Порядок выполнения. В каждую из пяти пробирок внести по 40 мл сточной воды. В пробирки пипеткой внести 2 %-ый раствор сульфата алюминия или хлорида железа в объемах указанных в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Дозы коагулянта

Номер пробы (пробирки)	1	2	3	4	5
Объем раствора коагулянта, мл	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Доза коагулянта*, мг/л	50	100	150	200	250

\* В практике водоочистки обычно применяется способ выражения дозы коагулянта в виде массовой концентрации, показывающей количество сухого вещества реагента приходящегося на единицу объема обрабатываемой сточной воды (мг/л, г/м<sup>3</sup>).

После добавления коагулянта воду перемешивают трехкратным опрокидыванием закрытых пробкой пробирок. Отмечают время введения

коагулянта в пробу воды. Через 15 минут из каждой пробирки с помощью шприца-пробоотборника в кювету отбирают пробу надосадочной жидкости и определяют её оптическую плотность относительно дистиллированной воды. Для расчета степени очистки также необходимо провести определение оптической плотности исходной сточной воды (относительно дистиллированной воды).

Результаты проведенных опытов записывают в виде таблицы 1.4.

Таблица 1.4 – Результаты опытов

Номер пробы	Наименование коагулянта	Количество коагулянта		Оптическая плотность		Эффективность очистки, %
		объем, мл	Доза коагулянта, мг/л	исходной воды	очищенной воды	

Эффективность очистки воды рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{\mathcal{D}_0 - \mathcal{D}}{\mathcal{D}_0}$$

где  $\mathcal{E}$  – эффективность очистки воды,

$\mathcal{D}_0$  – оптическая плотность исходной воды,

$\mathcal{D}$  – оптическая плотность очищенной воды.

На основании проведенных опытов строят графики в координатах:

- 1) оптическая плотность - доза коагулянта,
- 2) эффективность очистки - доза коагулянта.

По графикам определяют оптимальную дозу коагулянта.

#### **Вопросы для формулирования выводов проведенной работы:**

1. Охарактеризуйте, что такое сточные воды и как они классифицируются.
2. Какие существуют пути уменьшения количества сточных вод?
3. Назовите методы очистки сточных вод от взвешенных веществ.
4. Охарактеризуйте методы очистки сточных вод от взвешенных веществ (размеры удаляемых частиц, на чем основан метод очистки, характеристика применяемого оборудования).
5. Что такое коагуляция и флокуляция? Какие коагулянты и флокулянты используются в процессах очистки сточных вод?