

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра водоснабжения, химии и экологии

О. Н. ГОРЕЛАЯ

# ВОДООТВОДЯЩИЕ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь  
в качестве учебного пособия  
для студентов учреждений высшего образования по специальности  
«Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»*

Гомель 2024

УДК 696.11(075.8)  
ББК 38.761  
Г25

**Р е ц е н з е н т ы:** кафедра водоснабжения и водоотведения Белорусского национального технического университета (зав. кафедрой – канд. техн. наук, доцент *В. Н. Ануфриев*); доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Полоцкого государственного университета канд. техн. наук, доцент *В. Д. Ющенко*

**Горелая, О. Н.**

Г25 Водотоводящие системы промышленных предприятий : учеб. пособие / О. Н. Горелая ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2024. – 207 с.  
ISBN 978-985-891-109-6

Рассмотрены общие вопросы водоотведения на промышленных предприятиях, выбор технологий очистки. Приведены теоретические сведения по методам очистки производственных сточных вод, рассмотрены вопросы расчета и проектирования основных сооружений очистки сточных вод. Изложены способы сбора и обработки осадков.

Предназначено для студентов специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов». Может представлять интерес для магистрантов и других инженерно-технических работников, занимающихся вопросами проектирования и эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения.

**УДК 696.11(075.8)**  
**ББК 38.761**

**ISBN 978-985-891-109-6**

© Горелая О. Н., 2024  
© Оформление. БелГУТ, 2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД .....	7
1.1 Классификация производственных сточных вод.....	7
1.2 Основные характеристики дисперсных систем .....	13
1.3 Классификация загрязнений воды .....	15
2 СХЕМЫ И СИСТЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	17
2.1 Особенности систем водоотведения промышленных предприятий .....	17
2.2 Особенности схем водоотведения промышленных предприятий .....	19
3 ПРИЕМНИКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД .....	24
3.1 Виды приемников производственных сточных вод .....	24
3.2 Условия приема сточных вод в городскую сеть водоотведения с учетом предельно допустимых концентраций .....	24
3.3 Условия приема сточных вод в водные объекты с учетом предельно допус- тимых концентраций.....	26
3.4 Требования к оборотной и повторно используемой воде .....	29
4 ОЧИСТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД .....	31
4.1 Методы очистки производственных сточных вод .....	31
4.2 Усреднение сточных вод. Усреднители состава сточных вод.....	34
5 МЕХАНИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД .....	39
5.1 Особенности процессов гравитационного отделения дисперсных примесей. Отстойники тонкослойные. Отстойники специального назначения .....	39
5.2 Особенности процесса фильтрования производственных сточных вод. Конструкции фильтров с зернистыми загрузками. Фильтры с полимерными загрузками.....	45
5.3 Разделение в поле центробежных сил. Назначение и область применения гидроциклонов. Особенности конструкций открытых, многоярусных и напорных гидроциклонов.....	47
5.4 Применение мембранных технологий .....	52
6 ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД.....	57
6.1 Основные способы физико-химической очистки производственных сточ- ных вод.....	57
6.2 Реагентная обработка воды .....	58
6.3 Флотационная очистка .....	63
6.4 Сорбционная очистка.....	74
6.5 Электрохимическая очистка.....	85
6.6 Экстракция. Эвапорация. Ионный обмен.....	98
7 ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД .....	105
7.1 Классификация химических методов очистки воды .....	105

7.2 Окисление .....	105
7.3 Нейтрализация сточных вод .....	109
8 ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД.....	115
8.1 Общие принципы применения биологических методов для очистки произ- водственных сточных вод .....	115
8.2 Основные термины.....	120
8.3 Основные сооружения биологической очистки.....	121
8.4 Особенности технологических схем биохимической очистки производствен- ных сточных вод.....	129
9 ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКОВ И ШЛАМОВ .....	135
9.1 Концентрирование и обезвоживание осадков и шламов .....	136
9.2 Восстановление коагулянтов и регенерация сорбентов.....	143
9.3 Использование осадков производственных сточных вод .....	146
10 ОСОБЕННОСТИ ВОДООТВЕДЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ .....	151
10.1 Очистные сооружения нефтеперерабатывающих заводов, ТЭЦ, предпри- ятий пищевой и легкой промышленности .....	151
10.2 Совместная очистка производственных и бытовых сточных вод .....	161
10.3 Компоновка очистных сооружений .....	163
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	169
ПРИЛОЖЕНИЕ А Классификация методов очистки сточных вод в зависимости от группы примесей .....	175
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Санитарно-гигиенические характеристики веществ, загрязня- ющих водные объекты .....	190
ПРИЛОЖЕНИЕ В Условия использования биохимических методов очистки.....	201

## **ВВЕДЕНИЕ**

Проблема очистки промышленных сточных вод весьма многогранна и усложняется различием технологических процессов, видов перерабатываемого сырья, выпускаемой продукции, применяемых реагентов, состава исходной водопроводной воды, местных условий и других факторов.

Режим сброса производственных сточных вод определяется регламентом технологического процесса как отдельных цехов, так и промышленного предприятия в целом.

При проектировании системы водоотведения промышленных предприятий в первую очередь решается вопрос о возможности использования сточных вод в системе оборотного водоснабжения после их предварительной очистки. Степень очистки определяется требованиями технологического регламента к качеству воды, используемой в том или ином технологическом процессе [1, 3, 8].

При невозможности повторного использования отработанной воды и расположении промышленного предприятия в населенном пункте или вблизи него производственные сточные воды могут быть сброшены в городские сети водоотведения для совместной очистки с бытовыми сточными водами на единых очистных сооружениях или непосредственно в водный объект. В последнем случае они должны быть подвергнуты предварительной очистке на внутрицеховых, локальных или местных очистных сооружениях.

Современные технологии очистки производственных и природных вод должны отвечать нормативным требованиям отечественных стандартов (ПДК) и, согласно Международной конвенции и соглашению с Европейским союзом (ЕС), включать также и требования по экологической безопасности по воде с учётом наилучших доступных технологий по оборудованию [58–65].

Основными загрязнителями производственных сточных вод являются органические соединения, нефтепродукты, соли тяжелых металлов, а также соединения азота, сульфаты, хлориды, цианиды и др.

Для очистки производственных сточных вод применяют механические, химические, физико-химические и биологические методы.

Очистка сточной воды от содержащихся в ней загрязнений, как правило, проводится в несколько стадий. Каждая из которых является неотъемлемой частью технологического процесса.

Общим принципом последовательности расположения очистных сооружений является удаление из сточной воды загрязнений по их уменьшающейся крупности.

В схеме очистной станции сооружения механической очистки могут располагаться как до, так и после сооружений биологической очистки. В первом случае они служат для извлечения наиболее грубых загрязнений, которые встречаются в бытовых, производственных и поверхностных сточных водах: кусочков дерева, текстиля, остатков фруктов, синтетических материалов, волокон, костей, битого стекла, песка, взвешенных веществ, масло- и нефтепродуктов и др. Кроме этого, для глубокой очистки сточной воды могут быть использованы механические фильтры.

На промышленных предприятиях во многих случаях применяются усреднители, которые позволяют достичь выравнивания количества сточных вод и концентраций в них загрязняющих веществ.

Одновременное проведение процессов отстаивания и сбраживания образующегося при этом осадка достигается в комбинированных сооружениях: септиках, двухъярусных отстойниках или осветлителях-перегнвателях.

При анализе методов очистки производственных сточных вод основной акцент делается на внедрение высокоэффективных экологически безопасных технологий [36, 61].

# 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

## 1.1 Классификация производственных сточных вод

На территории промышленных предприятий образуются три вида сточных вод: производственные, бытовые и поверхностные.

В соответствии с [1–3, 8] в пособии используются следующие основные определения.

**Водоотведение** – совокупность мер, инженерных сетей и сооружений для приема и отведения сточных вод.

**Воды сточные (СВ)** – воды, содержащие загрязняющие вещества, отводимые из жилых, общественных и производственных зданий (кроме дренажных, карьерных, шахтных, рудничных), а также образующиеся при выпадении атмосферных осадков, таянии снега, поливомоечных работах на территориях населенных пунктов, промышленных предприятий, строительных площадок и других объектов.

В зависимости от происхождения сточные воды подразделяются:

а) *на хозяйственно-бытовые сточные воды* – сточные воды, которые образуются в жилых помещениях, а также в бытовых помещениях объектов промышленности, административных зданий и других объектов в результате удовлетворения личных (бытовых) нужд работников и сбрасываются в окружающую среду, в том числе через систему канализации;

б) *производственные сточные воды (ПСВ)* – сточные воды, которые образуются в технологических процессах в результате производственной деятельности и сбрасываются объектами промышленности в окружающую среду, в том числе через систему канализации;

в) *поверхностные сточные воды* – сточные воды, которые образуются при выпадении атмосферных осадков, таянии снега, поливомоечных работах на территории населенных пунктов, объектов промышленности, строительных площадок и других объектов и сбрасываются в окружающую среду, в том числе через систему дождевой канализации.

**Загрязняющее вещество (ЗВ)** – вещество (физического и/или химического, и/или биологического происхождения), содержащееся в воде в количестве, превышающем установленные для него нормативы.

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, клеящие 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) вязкие (на заводах искусственного волокна);

г) фенольные;

д) окрашенные и т. п.

По активной реакции среды (рН):

а) нейтральные –  $\text{pH} = 6,5 \dots 8,5$ ;

б) кислые –  $\text{pH} < 6,5$ ,

в) щелочные –  $\text{pH} > 8,5$ .

Кислые и щелочные сточные воды, в свою очередь, подразделяют:

– на сильнокислые –  $\text{pH} < 6$ ;

– слабокислые –  $\text{pH} = 6 \dots 6,5$ ;

– слабощелочные –  $\text{pH} = 8 \dots 9$ ;

– сильнощелочные –  $\text{pH} > 9$ .

По агрессивности:

а) слабоагрессивные ( $\text{pH} = 6 \dots 6,5$  или  $\text{pH} = 8 \dots 9$ );

б) неагрессивные ( $\text{pH} = 6,5 \dots 8$ );

в) сильноагрессивные ( $\text{pH} < 6$  или  $\text{pH} > 9$ ).

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 или БПК<sub>5</sub>). БПК определяется лабораторным путем и выражается в миллиграммах кислорода на 1 дм<sup>3</sup> сточной воды (мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> или гО<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 пятисуточную (БПК<sub>5</sub>) или семисуточную (БПК<sub>7</sub>) биохимическую потребность в кислороде.

Для более полной оценки содержания органических веществ в сточных водах определяют химическую потребность в кислороде (далее ХПК или ХПК<sub>с</sub>). ХПК называют количество кислорода, необходимое для полного окисления (т. е. перевода углерода органических соединений в диоксид углерода, 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 1 дм<sup>3</sup> воды (мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>).

Разница между БПК<sub>5</sub> и ХПК служит показателем прироста микробальной среды и наличия стойких органических загрязнений, не затрагиваемых биохимическим процессом.

Для *бытовых* сточных вод разница между БПК<sub>5</sub> и ХПК невелика (БПК<sub>5</sub> составляет около 86 % ХПК). Для *производственных* сточных вод БПК<sub>5</sub> может составлять около 50 % и менее. Соотношение БПК<sub>5</sub> и ХПК показывает на необходимость применения биохимической очистки сточных вод. При соотношении БПК<sub>5</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>5</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.

Количество, состав и свойства СВ зависят:

- от вида предприятия и вида перерабатываемого сырья (например, шерсть и жиры на шерстомойных фабриках; нефтепродукты и взвешенные вещества на предприятии переработки нефти);
- применяемых компонентов промежуточных изделий и продуктов;
- технологии процесса;
- количества выпускаемой продукции;
- качества исходной воды;
- системы водоснабжения (например, при оборотной системе водоснабжения сточных вод образуется меньше, но загрязненность выше, чем при прямой).

Эффективность использования воды на промышленных предприятиях оценивается:

1 По проценту использования воды в обороте –

$$P_{об} = \frac{Q_{об}}{Q_{ист} + Q_{об} + Q_c} \cdot 100 \Rightarrow 100 \%, \quad (1.1)$$

где  $Q_{ист}$ ,  $Q_{об}$  – количество воды, забираемой из источника и используемой в обороте;

$Q_c$  – количество воды, поступающей с сырьем.

В среднем  $P_{об}$  приближается к 60 %, на некоторых промышленных предприятиях  $P_{об} = 90 \dots 100 \%$ .

2 По рациональности использования воды источника –

$$K_{и} = \frac{Q_{ист} + Q_c - Q_{сбр}}{Q_{ист} + Q_c} \leq 1, \quad (1.2)$$

где  $Q_{сбр}$  – количество сбрасываемой воды.

В среднем  $K_{и} = 0,27$ ; на некоторых промышленных предприятиях  $K_{и} = 0,75 \dots 0,87$ .

3 По проценту потерь воды –

$$P_{пот} = \frac{Q_{ист} + Q_c - Q_{об}}{Q_{посл} + Q_{ист} + Q_{об} + Q_c} \cdot 100 \Rightarrow 0, \quad (1.3)$$

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

В среднем  $P_{пот} = 2,5$ .

В соответствии с [3, 4] расходы производственных сточных вод определяются либо по данным технологов, либо по производительности предприятия и удельным расходам предприятий-аналогов.

При проектировании водоотведения промышленных предприятий необходимо знать:

- количество сточных вод (по отдельным операциям, цехам, промышленному предприятию в целом) и режим их отведения;
- физико-химический состав сточных вод;
- требования к качеству очищенной воды.

В анализируемых сточных водах должны определяться: содержание компонентов, специфичных для данного вида производства (фенолов, нефтепродуктов, поверхностно-активных, ядовитых, радиоактивных, взрывоопасных веществ); общее количество органических веществ, выражаемое БПК<sub>5</sub> и

ХПК; активная реакция; интенсивность окраски; степень минерализации; наличие биогенных элементов.

В зависимости от технологии производственных процессов, анализ состава сточных вод производится по разовым часовым, среднесменным и среднесуточным пропорциональным пробам; следует также составлять графики колебания концентраций наиболее характерных загрязнений по часам смен и суток, дням недели. Необходимо установить такие параметры, как кинетика оседания или всплывания механических примесей и их объем, возможность коагулирования сточных вод и др. Эти данные позволяют выбрать наиболее целесообразный и экономически обоснованный метод очистки сточных вод для определенного предприятия. На основании детального анализа можно разработать рациональную систему отведения, обработки и использования сточных вод.

Суточные  $Q_{\text{сут}}$ ,  $\text{м}^3/\text{сут}$ , и максимальные секундные  $q$ , л/с, расходы определяются по формулам

$$Q_{\text{сут}} = NM; \quad (1.4)$$

$$q = \frac{NM_{\text{max см}}}{3,6T} K_{\text{ч}}, \quad (1.5)$$

где  $N$  – норма водоотведения на единицу продукции или перерабатываемого сырья,  $\text{м}^3$ ;

$M$  – число единиц продукции или перерабатываемого сырья в сутки;

$M_{\text{max см}}$  – число единиц продукции или перерабатываемого сырья в сутки и в максимальную смену;

$T$  – число рабочих часов в смену;

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

Коэффициенты часовой неравномерности водопотребления на питьевые и хозяйственные нужды на промышленных предприятиях следует принимать: 2,5 – для цехов с тепловыделением более 80 кДж на 1  $\text{м}^3/\text{ч}$ ; 3,0 – для остальных цехов.

Количество сточной воды на производстве, как правило, меньше, чем потребляемый расход воды и зависит главным образом от системы водоснабжения.

Расчетные расходы бытовых вод определяются по смене с максимальным числом работающих по существующим нормам водоотведения.

Расходы душевых вод определяются числом душевых сеток из условия отведения этих сточных вод в течение 45 минут после смены и нормы водоотведения 500 л/ч на 1 душевую сетку.

На предприятиях также определяются расходы от столовых и прачечных, на мойку производственных и непроизводственных помещений, на нужды

производственных лабораторий в зависимости от профиля лаборатории (химическая, физическая, биологическая), на поливку зеленых насаждений, на мойку твердых покрытий.

Расчетные расходы дождевых и талых вод определяются в зависимости от местных производственных и климатических условий, от рельефа местности и степени благоустройства территории по известным методикам.

## 1.2 Основные характеристики дисперсных систем

Существуют индивидуальные вещества и смеси веществ. Смеси могут состоять из двух или большего числа чистых веществ, сохраняющих присущие им свойства [10].

Смеси веществ делятся на гомогенные (однородные) и гетерогенные (неоднородные).

В *гомогенных смесях* составные части нельзя обнаружить ни визуально, ни с помощью оптических приборов, поскольку вещества находятся в раздробленном состоянии на микроуровне. Пример – смеси любых газов, истинные растворы. В *гетерогенных смесях* либо визуально, либо с помощью оптических приборов можно различить области (агрегаты) разных веществ, разграниченные поверхностью раздела. Каждая из этих областей внутри себя гомогенна. Такие области называются фазой.

**Гомогенная смесь состоит из одной фазы, гетерогенная – из двух или более фаз.**

Гетерогенные смеси, в которых одна фаза в виде отдельных частиц (*дисперсная фаза*) распределена в другой (массе основного несущего вещества – *дисперсионной среде*), называются дисперсными системами (дисперсность – раздробленность).

На рисунке 1.1 представлена классификация дисперсных систем в зависимости от размера частиц веществ.

Коллоидные растворы – дисперсные системы с частицами размером от  $10^{-9}$  до  $10^{-7}$  м, содержащие от тысяч до миллиарда атомов, т. е. наносистемы. Частицы в них настолько малы, что вещество, из которого они состоят, почти целиком находится в коллоидном состоянии, т. е. практически содержит только поверхностные атомы и молекулы.

Коллоидные растворы при одностороннем освещении кажутся мутными вследствие рассеяния частицами света.

Коллоидные растворы с размерами частиц менее 100 нм называют золями. Золи могут быть нескольких видов.

*Гидрозоли* – коллоидные системы, дисперсионной средой которых является вода, а также частицы – глина, очень мелкий песок и другие вещества. Золи с органической дисперсионной средой называются *органозолями*.

*Аэрозоли* – дисперсные системы с газообразной дисперсионной средой и взвешенными твердыми или жидкими частицами.

Суспензии – дисперсные системы с твердой дисперсной фазой и жидкой дисперсионной средой. Имеют ряд общих свойств с порошками. Если порошок поместить в жидкость и перемешать, то получится суспензия, а при высушивании суспензии она снова превращается в порошок.

Эмульсии – это дисперсные системы, образованные двумя взаимно нерастворимыми жидкостями. Для эмульсий характерна коалесценция капель, т. е. их самопроизвольное слияние. Газовые эмульсии сравнительно быстро расслаиваются: вследствие значительно меньшей плотности газа по сравнению с жидкостью пузырьки всплывают на поверхность, где, концентрируясь, образуют пену.



Рисунок 1.1 – Классификация дисперсных систем по признаку размер частиц

Основные типы дисперсных систем представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Основные типы дисперсных систем

Дисперсная фаза	Дисперсионная среда	Примеры дисперсных систем
Газ	Газ	Не существует
Жидкость	Газ	Туман, облака, жидкие аэрозоли
Твердое тело	Газ	Дым, пыль, порошки, твердые аэрозоли
Газ	Жидкость	Пены, газовые эмульсии
Жидкость	Жидкость	Эмульсии
Твердое тело	Жидкость	Суспензии, коллоидные растворы
Газ	Твердое тело	Твердые пены, активные угли
Жидкость	Твердое тело	Гели
Твердое тело	Твердое тело	Минералы, сплавы, цветные стекла

### 1.3 Классификация загрязнений воды

Кульским Л. А. [36] предложена классификация загрязнений воды на основе их фазово-дисперсного состояния и на их способности образовывать гомогенные и гетерогенные водные системы. Особенностью предложенной классификации является то, что она отражает не только индивидуальные свойства отдельных загрязнений, но и свойства образовавшейся системы в целом.

Сущность предлагаемой классификации состоит в том, что все примеси воды разделены на четыре группы, две из которых относятся к *гетерогенным* системам, а две другие – к *гомогенным*.

Гетерогенные системы в воде обусловлены наличием в ней нерастворимых или коллоидных соединений, а также эмульсий и пены. Гомогенные системы в воде представляют собой истинные растворы различных веществ. Истинные растворы являются устойчивыми системами и без дополнительного внешнего воздействия могут существовать без изменений достаточно долго.

К *первой группе* загрязнений относятся нерастворимые примеси, образующие с водой суспензии, эмульсии и пены. Сюда следует отнести и бактериальные взвешенные вещества. Системы, образованные примесями первой группы, кинетически неустойчивы и способны к седиментации (осаждению). Размер частиц –  $10^{-1}$  мкм.

*Вторую группу* загрязнений составляют гидрофильные и гидрофобные коллоиды, а также высокомолекулярные вещества, обуславливающие окисляемость и цветность воды, а также вирусы. В эту группу входят минеральные и органоминеральные частицы почв, грунтов и растительности (гумусовые вещества). Размер частиц –  $10^{-1}$ – $10^{-2}$  мкм.

*Третью группу* загрязняющих веществ – молекулярные растворы – включает растворенные в воде газы и органические соединения. К ним относятся разнообразные продукты жизнедеятельности и отмирания различных грибов, бактерий, водорослей, а также фенолы и спирты. Они придают воде привкусы и запахи. Размер частиц –  $10^{-2}$ – $10^{-3}$  мкм.

*Четвертая группа* примесей образует с водой ионные растворы, к которым относятся соли, основания и кислоты, придающие воде минерализованность, жесткость, щелочность или кислотность. Размер частиц –  $10^{-3}$  мкм.

Расположение загрязнений в порядке повышения дисперсности целесообразнее с технологической точки зрения, так как процесс очистки начинается с удаления грубодисперсных примесей и коллоидных веществ. Методы удаления этих загрязнений являются наиболее общими. Процессы очистки, корректирующие содержание в воде примесей молекулярной и ионной дисперсности, используются в качестве дополнительных. Классификация методов очистки сточных вод в зависимости от группы загрязняющих веществ представлена в приложении А.

Классификация методов очистки сточных вод А. И. Родионова [36], в основу которой положены процессы очистки, представлена на рисунке 1.2.



## **2 СХЕМЫ И СИСТЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Выбор системы и схемы водоотведения промышленных предприятий производится с учетом количества, состава и свойств, а также режима отведения сточных вод, возможности уменьшения количества сточных вод путем применения рациональных безотходных и безводных технологических циклов, оборотного или последовательного водоснабжения, целесообразности утилизации ценных веществ, возможности и целесообразности устройства совместной канализации с другими промышленными предприятиями и городом. При этом учитывается возможность и условия сброса сточных вод в городскую систему канализации, условия выпуска сточных вод в водные объекты, требуемая степень и методы очистки.

### **2.1 Особенности систем водоотведения промышленных предприятий**

Различают **внутриплощадочные** (на территории предприятия) и **внеплощадочные** (за его пределами) **водоотводящие системы**.

Для промышленных предприятий применяется, как правило, **полная раздельная** система отведения и очистки бытовых, поверхностных и производственных сточных вод.

Правильное определение расхода сточных вод, состава и режима их поступления, является одной из основных задач проектирования канализации промышленных предприятий. Количество сточных вод на производстве, как правило, меньше, чем потребляемый расход воды, и зависит главным образом от системы водоснабжения. В этом случае системы подразделяют:

- на прямоточную;
- оборотную;
- замкнутую;
- комбинированную.

**Определение расчетных расходов сточных вод в зависимости от системы водоотведения**

При *прямоточной системе водоснабжения* вся использованная на предприятии вода за вычетом безвозвратных потерь сбрасывается в канализацию (рисунки 2.1).

Такая система не может считаться рациональной с позиции ресурсосбережения и применяется при соответствующем технико-экономическом обосновании.

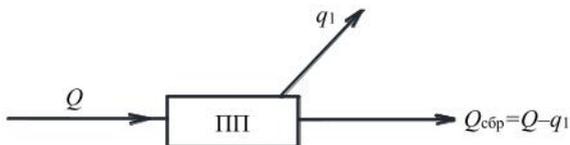


Рисунок 2.1 – Схема прямоточной системы водоснабжения:

$Q$  – расход производственной воды;  $q_1$  – безвозвратные потери;  $Q_{сбр}$  – расход сточных вод, поступающих в систему водоотведения; ПП – промышленное предприятие

При *оборотной системе водоснабжения* (рисунок 2.2) часть воды вновь возвращается в производство после охлаждения или очистки на локальных очистных сооружениях (ЛОС). Потери воды пополняются из источника водоснабжения свежей водой. Это может быть как централизованная система водоснабжения населенного пункта или другого предприятия (вода технического или питьевого качества), так и добыча (изъятие) вод из водных объектов (поверхностные или подземные воды).

Из общего количества воды  $Q$ , циркулирующей в оборотной системе, ее часть  $q_1$  расходуется на безвозвратные потери, часть  $q_2$  составляет потери в охладителях или на ОС. Кроме того, для поддержания требуемого солевого состава воды в оборотном цикле обычно предусматривают продувку или периодический сброс части воды  $Q_{сбр}$  в систему водоотведения.

С целью поддержания требуемого объема воды в системе оборотного водоснабжения расход свежей воды  $Q_{п}$ , подаваемой в систему (подпитка), составит

$$Q_{п} = q_1 + q_2 + Q_{сбр}.$$

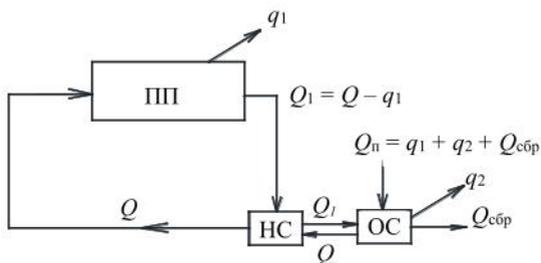


Рисунок 2.2 – Схема оборотной системы водоснабжения

За пределы предприятия сбрасывается только расход  $Q_{сбр}$ , равный величине продувки.

Частным случаем оборотных систем являются **замкнутые системы** водоснабжения, для которых  $Q_{сбр} = 0$ .

При *комбинированной системе водоснабжения* (рисунок 2.3), часто встречающейся на практике, разные потребители одного и того же предприятия обеспечиваются водой по прямоточной или оборотной схемам.

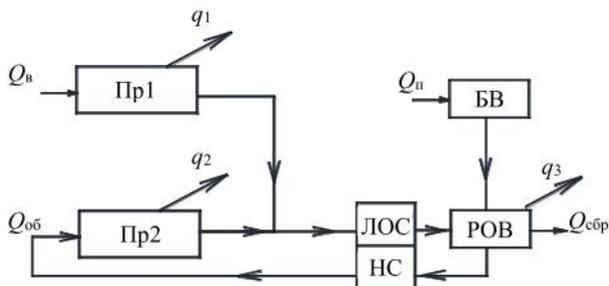


Рисунок 2.3 – Комбинированная система водоснабжения с оборотным использованием очищенных производственных сточных вод:

Пр1 – предприятия и производственные процессы, потребляющие водопроводную воду; Пр2 – то же, оборотную воду; ЛОС – локальные очистные сооружения; БВ – блок водоподготовки подпиточной воды; РОВ – резервуар очищенных сточных вод; НС – насосная станция оборотного водоснабжения;  $Q_v$  – расход водопроводной воды;  $Q_{об}$  – расход оборотной воды;  $Q_n$  – расход подпиточной воды, компенсирующей безвозвратные потери;  $q_1, q_2, q_3$  – безвозвратные потери;  $Q_{сбр}$  – расход сбросной воды

За пределы предприятия сбрасывается только расход  $Q_{сбр}$ , равный величине продувки.

Частным случаем оборотных систем являются **замкнутые системы** водоснабжения, для которых  $Q_{сбр} = 0$ .

При создании замкнутых систем производственного водоснабжения необходимо рассматривать водоснабжение и водоотведение промышленного предприятия как единую систему водного хозяйства.

Вид системы водоотведения промышленного предприятия влияет на параметры системы водоотведения и величину расхода  $Q_{сбр}$ .

## 2.2 Особенности схем водоотведения промышленных предприятий

*Схема отдельного водоотведения с двумя сетями: производственно-бытовой и дождевой.* Такая схема (рисунок 2.4) применяется, когда производственные сточные воды по составу близки к бытовым. Очистка их может осуществляться совместно со сточными водами города на городских очистных сооружениях (ГОС).

Разновидностью этой схемы является устройство на территории предприятия отдельно бытовой сети и объединенной производственно-дождевой сети.

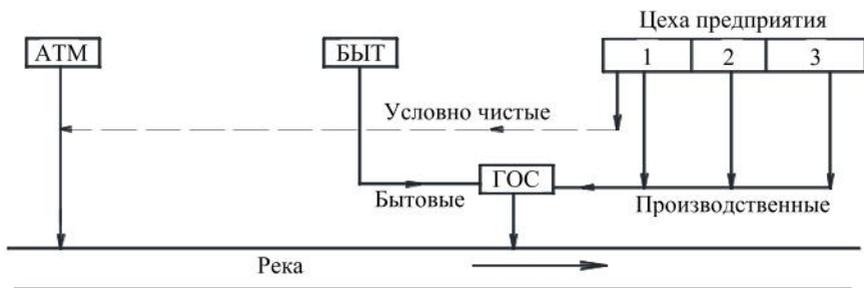


Рисунок 2.4 – Схема раздельного водоотведения с двумя сетями: производственно-бытовой и дождевой

Схема раздельного водоотведения с тремя и более сетями и локальными очистными сооружениями (ЛОС) (рисунок 2.5). Применяется, когда все производственные сточные воды или часть их нельзя отводить совместно с хозяйственно-бытовыми, т. к. они содержат специфические загрязнения, которые могут вызвать нарушения в работе канализации.

Для очистки сточных вод от этих загрязнений устраиваются локальные очистные сооружения в цехах или недалеко от них (решетки, сита, отстойники, жироловки, нефтеуловители и т. д.) для того, чтобы быстро и непосредственно у мест их образования извлечь и утилизировать специфические загрязнения.

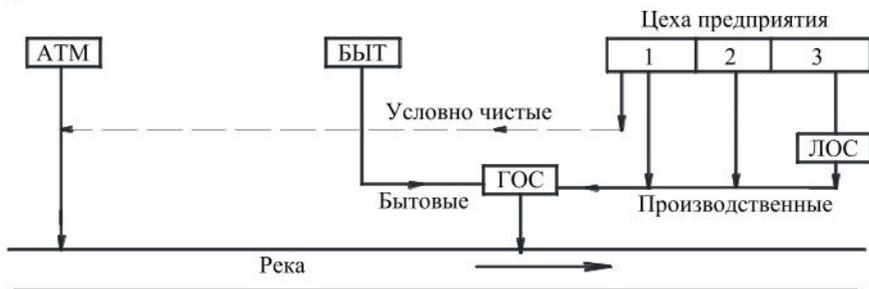


Рисунок 2.5 – Схема раздельного водоотведения с тремя и более сетями и локальными очистными сооружениями

Схема раздельного водоотведения с устройством общих ЛОС (рисунок 2.6) промышленного предприятия. В некоторых случаях смешение различных сточных вод в канализационных сетях может привести к нежелательным последствиям, например:

- смешение кислот с цианосодержащими сточными водами (образуется ядовитая синильная кислота);
- смешение кислот с известью (образуется гипс, выпадающий в осадок);

- смешение кислот с сульфидами (образуется сероводород  $H_2S$ );
- смешение производственных сточных вод, содержащих механические примеси или масла, нефть и т. д. с бытовыми водами (нецелесообразно, так как усложняется очистка воды и обработка осадка).

На предприятиях, где смешение различных видов сточных вод нежелательно, устраивают раздельное водоотведение и очистку соответствующих категорий производственных сточных вод.

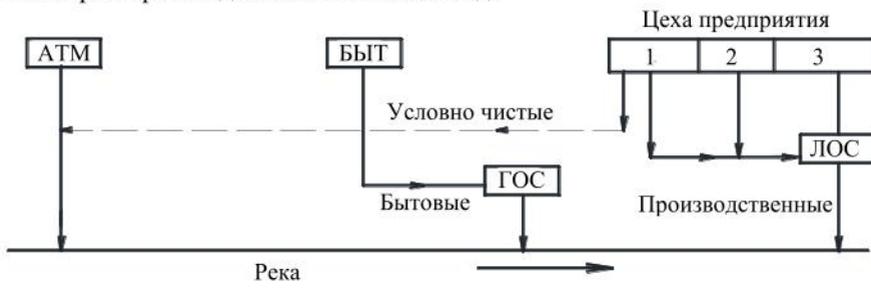


Рисунок 2.6 – Схема раздельного водоотведения с устройством общих ЛОС промышленного предприятия

Схема раздельного водоотведения с устройством раздельных ЛОС промышленного предприятия (рисунок 2.7). При невозможности или нецелесообразности устройства общих ЛОС предприятия, очистка отдельных категорий сточных вод осуществляется раздельно.

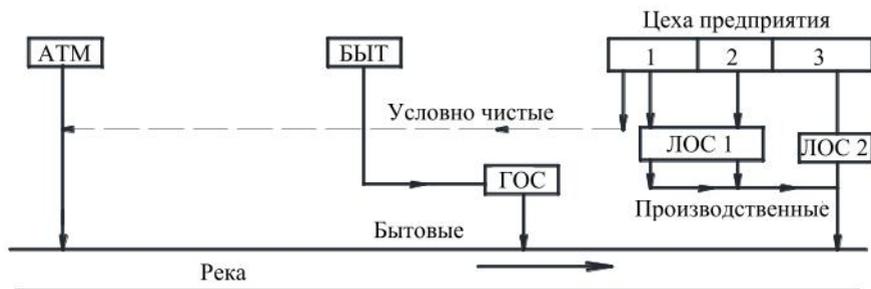


Рисунок 2.7 – Схема раздельного водоотведения с устройством раздельных ЛОС промышленного предприятия.

Схема раздельного водоотведения с использованием воды в обороте (рисунок 2.8). Такая схема является наиболее перспективной.

В настоящее время чаще всего поверхностные воды с площадки промпредприятия сбрасываются в водный объект без очистки, бытовые сточные воды – после соответствующей очистки, а производственные сточные воды

после специальной очистки направляются в оборот. Сброс воды из оборотной системы осуществляется в сеть дождевой или производственной канализации.

Разделение производственных сточных вод может быть продиктовано санитарными причинами, пожаро- и взрывоопасностью, возможностью зарастания и разрушения трубопроводов.

Не всегда целесообразно совместное отведение даже сточных вод одинакового состава, но различных по концентрации в них загрязняющих веществ. Если эти вещества представляют собой товарную ценность, то экономичнее извлекать их из наиболее концентрированных сточных вод и уже потом смешивать слабо концентрированные сточные воды для их последующей очистки.

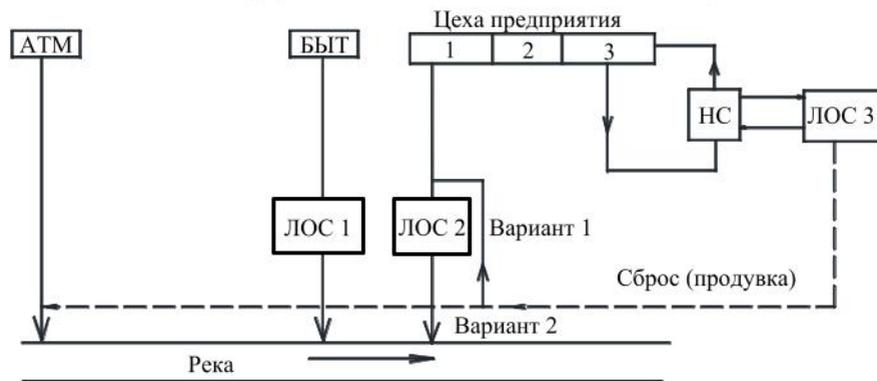


Рисунок 2.8 – Схема раздельного водоотведения с использованием воды в обороте

*Схема общесплавной системы водоотведения* (рисунок 2.9). Общесплавная система водоотведения предусматривает устройство единой системы для отведения и очистки производственных, бытовых и поверхностных сточных вод.

При решении схем водоотведения промышленных предприятий необходимо исключать сброс производственных сточных вод в водные объекты без надлежащей очистки. Поверхностные сточные воды с территории предприятий следует рассматривать как резерв для промышленного водоснабжения вследствие их малой минерализации.

При отведении в водные объекты они подлежат очистке в соответствии с предъявляемыми требованиями.

Схемы водоснабжения и водоотведения промышленных предприятий и населенных пунктов в целях достижения наиболее экономичных и комплексных решений разрабатываются, как правило, одновременно на основании проекта районной планировки и застройки по единому генеральному плану.

В необходимых случаях производственные сточные воды должны пройти предварительную очистку на локальных очистных сооружениях промышленного предприятия.

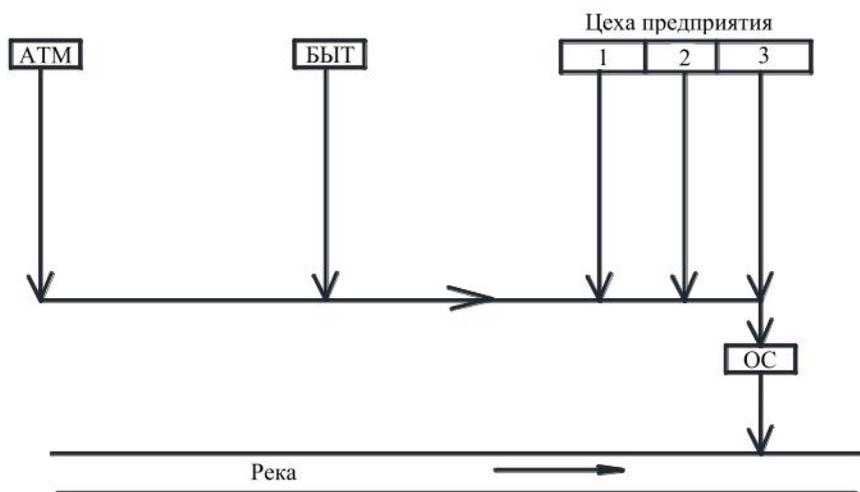


Рисунок 2.9 – Схема общесплавной системы водоотведения

В настоящее время актуальным является вопрос повышения процента вод, находящихся в системе оборотного водоснабжения, с целью дальнейшего полного перехода на малоотходные и бессточные системы водоотведения. В бессточных системах промышленных предприятий в оборот включаются также и бытовые сточные воды после соответствующей очистки и доочистки, а в водный объект опускаются лишь поверхностные.

В случае расположения промышленного предприятия или группы промышленных предприятий в городской черте либо в непосредственной близости от жилого массива, имеющего централизованную систему водоотведения, необходимо в первую очередь рассматривать вопрос о совместном отведении и очистке производственных и городских сточных вод. При невозможности совместной очистки следует предварительно обрабатывать производственные сточные воды либо на очистных сооружениях, расположенных на территории предприятия, либо на общих очистных сооружениях. Совместная очистка этих сточных вод, как правило, экономически целесообразна, а с санитарной точки зрения более надежна.

В ряде случаев очистка производственных сточных вод не может быть полностью осуществлена на самом предприятии, но она существенно упрощается при смешивании со сточными водами населенного пункта. При этом необходимо соблюдать требования, обеспечивающие нормальную работу сетей и сооружений.

При значительном удалении объектов друг от друга целесообразность совместной или раздельной очистки сточных вод этих объектов определяется путем технико-экономического сравнения вариантов централизованной и децентрализованной схем водоотведения.

## **3 ПРИЕМНИКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД**

### **3.1 Виды приемников производственных сточных вод**

Только в замкнутых схемах водоотведения отсутствует сброс сточных вод за пределы промышленного предприятия. В качестве приемника сточных вод используют: городские системы водоотведения, водные объекты различных типов, подземные горизонты, испарители сточных вод, оборотные системы водоснабжения.

На выбор вида приемника влияют:

- местные условия;
- количество, состав и свойства сточных вод;
- технико-экономические соображения.

Сброс сточных вод в различные приемники производится только при соблюдении ряда обязательных требований, обеспечивающих нормальное их функционирование и защиту окружающей среды.

### **3.2 Условия приема сточных вод в городскую сеть водоотведения с учетом предельно допустимых концентраций**

В каждом населенном пункте условия устанавливаются местными исполнительными комитетами на основании заявления и расчетов организации водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ), эксплуатирующей общегородские очистные сооружения.

Выпускаемые в городскую канализацию сточные воды не должны иметь:

- температуру более 40 °С;
- рН менее 6,5 или более 9;
- показатель загрязняющих веществ по взвешенным и всплывающим веществам более 500 мг/дм<sup>3</sup>;
- показатель химического потребления кислорода, бихроматной окисляемости (ХПК<sub>Cr</sub>) выше уровня биохимического потребления кислорода (БПК<sub>5</sub>) более чем в 2,5 раза и показатель биохимического потребления кислорода (БПК<sub>5</sub>) более чем 600 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>;
- синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ) анионоактивных, в том числе алкилоксиэтилированных сульфатов, алкилсульфонатов, олефинсульфонатов, алкилбензосульфонов, алкилсульфатов, натриевых и калиевых солей жирных кислот, в концентрации более 5 мг/дм<sup>3</sup>;

- радиоактивных веществ и материалов, возбудителей инфекционных заболеваний;
- не поддаваемых биологической очистке загрязняющих веществ, содержание которых выше нормативов допустимого сброса химических и иных веществ в составе сточных вод, установленных организациям ВКХ в разрешениях на специальное водопользование, комплексных природоохранных разрешениях, за исключением хлорид-иона, сульфат-иона, минерализации, концентрация которых рассчитывается исходя из технологической возможности коммунальных очистных сооружений, а также случаев, установленных в [9];
- биологических поверхностно-активных веществ;
- веществ, материалов и их включений, образующихся в процессе производства и способных засорять и разрушать трубопроводы, колодцы, решетки или отлагаться на их стенках, осадков локальных очистных сооружений, концентрированных маточных и кубовых растворов, гальванических растворов (электролитов);
- веществ, способных вызывать интенсивное образование отложений в трубопроводах, в том числе нерастворимых жиров, масел, смол, мазута, лакокрасочных материалов, продуктов органического синтеза, смазочно-охлаждающих жидкостей;
- веществ, агрессивно влияющих на материал труб, колодцев (кислоты, щелочи, сульфиды в концентрации более 1,5 мг/дм<sup>3</sup>);
- веществ, способных образовывать взрывоопасные, токсичные, горючие газы и смеси (хлор, сероводород, сероуглерод, оксид углерода, цианистый водород), пары летучих ароматических соединений и растворителей (бензин, керосин, эфиры, дихлорметан, бензолы, четыреххлористый углерод и другие);
- веществ, подавляющих процесс биологической очистки на очистных сооружениях (токсичные вещества, биологическая масса биотехнологических процессов, жесткие синтетические поверхностно-активные вещества, сельскохозяйственные яды);
- окраску с кратностью разбавления более 1:20;
- поверхностных сточных вод с территорий промышленных площадок (дождевые, талые, поливомоечные воды и другие) и дренажных вод при полной раздельной системе водоотведения (канализации);
- веществ, содержащих органические летучие соединения в количестве, приводящем к загрязнению рабочей зоны в производственных помещениях и на территории очистных сооружений;
- веществ, способных причинить вред здоровью персонала, обслуживающего централизованные системы водоотведения (канализации);
- отходов очистки воздуха после его очистки пылегазоочистным оборудованием, шламов и отходов станций технической водоподготовки, в том числе котельных и теплоэлектростанций, ионообменных смол, активированного угля и другого.

Производственные сточные воды до отведения в централизованную систему водоотведения (канализации) со значениями показателя рН менее 6,5 (кислые воды) и более 9 (щелочные воды) следует подвергать нейтрализации.

Не допускается объединение производственных сточных вод, взаимодействие которых может привести к образованию ядовитых или взрывоопасных газов, а также большого количества нерастворимых веществ (производственные сточные воды, содержащие соли кальция или магния, щелочные растворы, соду, сульфид натрия, хлор и фенол, а также имеющие значения показателя рН менее 6,5 и более 9).

Не допускается сброс в централизованную систему водоотведения (канализации) отходов производства и потребления (за исключением жидких коммунальных отходов), медицинских отходов, побочных продуктов, химических реактивов и реагентов.

Для обеспечения нормальной работы очистных сооружений при совместной очистке бытовых и производственных сточных вод их смесь должна иметь:

- температуру  $\geq 6$  и  $\leq 30$  °С;
- рН  $\geq 6,0$  и  $\leq 8,5$ ;
- общую концентрацию растворимых солей  $< 10$  г/дм<sup>3</sup>;
- не должно быть нерастворимых масел, смол;
- не должно быть биологически жестких поверхностно-активных веществ;
- ХПК/БПК<sub>5</sub> должно быть  $< 1,5$ ;
- оптимальное содержание биогенных элементов в сточных водах должно быть 100:5:1, где 100 – относительное содержание БПК<sub>5</sub>, 5 – азотосодержание, 1 – содержание фосфора.

При совместной биологической очистке производственных сточных вод и бытовых сточных вод механическая очистка может быть как совместной, так и раздельной. Раздельная применяется для взрывоопасных производственных сточных вод при их химической и физико-химической очистке, а также при раздельной обработке осадка.

### **3.3 Условия приема сточных вод в водные объекты с учетом предельно допустимых концентраций**

Условия выпуска производственных сточных вод в водные объекты регламентированы ЭкоНиП 17.06.02-002-2021 [5]. При определении необходимого качества вод при спуске в водный объект необходимо учитывать нормативы качества воды для водных объектов.

Расчеты по определению условий выпуска очищенных сточных вод выполняются в соответствии с ЭкоНиП 17.06.02-002-2021. Определено, что нормативы допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод, включая временные нормативы допустимых сбросов химических и

иных веществ в составе сточных вод, устанавливаются для юрлиц и ИП, осуществляющих в соответствии с утвержденной в установленном порядке проектной документацией сброс сточных вод в поверхностные водные объекты, в т. ч. через каналы мелиоративных систем, в соответствии с постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 26.05.2017 № 16 «О некоторых вопросах нормирования сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод» [6, 7]. В разделах ЭкоНиП установлены порядок проведения расчета указанных выше нормативов, состав разрабатываемой документации, в т. ч. с детализацией ее разделов.

Расчет нормативов допустимых сбросов представляет собой документацию, включающую следующие разделы:

- 1) сведения о водопользователе;
- 2) схема водоснабжения и канализации;
- 3) определение допустимой концентрации загрязняющих веществ в составе сточных вод, сбрасываемых в поверхностный водный объект (приложение Б);
- 4) определение максимально допустимой массы загрязняющих веществ в составе сточных вод, сбрасываемых в поверхностный водный объект (приложение Б);
- 5) заключение.

Раздел «Сведения о водопользователе» содержит:

- а) информацию об основных и вспомогательных видах экономической деятельности водопользователя;
- б) сведения о проектных и фактических объемах производимой продукции, используемых сырья и материалов.

Раздел «Схема водоснабжения и канализации» содержит:

- а) графическое отображение и описание существующей схемы водоснабжения и канализации, включая систему дождевой канализации;
- б) перечень производственных процессов, в ходе которых образуются сточные воды;
- в) сведения о наличии очистных сооружений сточных вод с оценкой эффективности их работы и сроков эксплуатации;
- г) информацию об организации и методах ведения учета сточных вод, сбрасываемых в поверхностный водный объект.

Раздел «Определение допустимой концентрации загрязняющих веществ в составе сточных вод, сбрасываемых в поверхностный водный объект» содержит исходную информацию для расчета нормативов (временных нормативов) сбросов, которая включает:

- а) схему отбора проб и проведения измерений в области охраны окружающей среды в части использования и охраны вод, разработанную в соответствии с требованиями [81];

б) характеристику гидрологического режима поверхностного водного объекта в фоновом створе, расположенном выше по течению места сброса сточных вод [82];

в) характеристику сточных вод, сбрасываемых в поверхностный водный объект, включая расход сточных вод, сведения о значениях показателей качества и загрязняющих веществ в составе сточных вод в месте сброса сточных вод, режим их отведения;

г) описание очистных сооружений сточных вод, включая проектную и фактическую производительность, состав и техническое состояние, а также показатели качества и концентрации загрязняющих веществ в составе сточных вод, поступающих на очистку [83];

д) значения показателей качества и концентраций химических и иных веществ в фоновых и контрольных створах;

е) условия приема производственных сточных вод в систему канализации населенных пунктов (для организаций, оказывающих услуги водоотведения);

ж) обоснованный перечень загрязняющих веществ в составе сточных вод, для которых необходимо установить нормативы (временные нормативы) сбросов;

з) вычисления допустимой концентрации, определяемой с учетом ассимилирующей способности поверхностного водного объекта.

Сводные данные результатов определения допустимой концентрации загрязняющих веществ оформляются по форме согласно приложению 1 [5].

Раздел «Определение максимально допустимой массы загрязняющих веществ в составе сточных вод, сбрасываемых в поверхностный водный объект» содержит:

а) вычисления максимально допустимой массы загрязняющих веществ в составе сточных вод, сбрасываемых в поверхностный водный объект, по каждому загрязняющему веществу в составе сточных вод;

б) рекомендации по установлению контрольного створа, расположенного ниже по течению мест сброса сточных вод, с учетом кратности разбавления сточных вод в воде водотока.

Сводные данные результатов определения максимально допустимой массы загрязняющих веществ в составе сточных вод, сбрасываемых в поверхностный водный объект, оформляются по форме согласно приложению 2 [5].

Раздел «Заклучение» содержит:

а) информацию об эффективности работы очистных сооружений сточных вод;

б) рекомендации об условиях сброса сточных вод в поверхностный водный объект, а также установлении временных нормативов сбросов;

в) предлагаемые мероприятия, направленные на достижение нормативов сбросов.

Нормативы допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод разрабатываются водопользователями (юридическими лицами, индивидуальными предпринимателями), осуществляющими сброс сточных вод в поверхностные водные объекты.

Нормативы (временные нормативы) сбросов устанавливаются территориальными органами Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь:

- в разрешениях на специальное водопользование;
- комплексных природоохранных разрешениях.

К нормативам (временным нормативам) сбросов относятся:

- допустимая концентрация загрязняющих веществ в составе сточных вод, сбрасываемых в поверхностный водный объект (мг/дм<sup>3</sup>);
- максимально допустимая масса загрязняющих веществ в составе сточных вод, сбрасываемых в поверхностный водный объект, за определенный период времени (т/год).

Нормативы (временные нормативы) сбросов пересматриваются в случаях:

- изменения нормативов качества воды поверхностных водных объектов;
- изменения расхода (объема), состава и методов очистки сточных вод, сбрасываемых в поверхностный водный объект;
- проведения реконструкции, модернизации, капитального ремонта очистных сооружений сточных вод, а также пусконаладочных работ или выхода их на проектную мощность, в период проведения которых не обеспечивается достижение нормативов допустимого сброса;
- внедрения новых и (или) изменения существующих технологий в производственных процессах, в результате которых образуются сточные воды.

### **3.4 Требования к оборотной и повторно используемой воде**

Условия использования очищенных сточных вод в оборотных системах водоснабжения определяются требованиями к качеству воды и условиями ее использования. Как правило, для решения данного вопроса разрабатываются ведомственные нормы для соответствующих отраслей промышленности.

Требования к химическому составу и другим показателям качества оборотной воды определяются условиями использования ее в конкретных технологических процессах. В зависимости от назначения воды в производстве и специфических требований, предъявляемых к ее качеству, можно особо выделить и рассмотреть конкретные условия многократного использования технической воды для теплообменных, энергетических и многочисленной и весьма разнородной группы технологических процессов.

В открытых системах вода должна быть безвредной для здоровья обслуживающего персонала и не обладать отрицательными органолептическими свойствами.

Наиболее часто в обороте используют воду для охлаждения оборудования.

Оборотная вода, используемая для охлаждения, должна быть термостабильной, т. е. из нее не должно выделяться более 0,2 г/(м<sup>2</sup>·ч) карбоната кальция CaCO<sub>2</sub>, других солей и механических примесей (слой отложений не более 0,08 мм в месяц). В противном случае вода должна предварительно обрабатываться.

Вода не должна вызывать точечной и язвенной коррозии, а также равномерной коррозии металла со скоростью, превышающей  $0,09 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  (слой до  $0,1 \text{ мм}$  в год) и разрушения бетона. Допустима равномерная скорость коррозии углеродистой стали, не превышающая  $0,45 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  (слой до  $0,5 \text{ мм}$  в год) при отсутствии признаков точечной и язвенной коррозии. Следует выбирать стойкие материалы для оборудования, трубопроводов и сооружений, предусматривать их защиту покрытиями или производить соответствующую обработку воды.

Вода не должна способствовать развитию биологических обрастаний теплообменных аппаратов и охладителей оборотной воды со скоростью, большей  $0,07 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  (слой до  $0,05$  в месяц) по сухому весу в воздухе. При необходимости воду периодически обрабатывают хлором, а охладители воды – раствором медного купороса.

Требования к оборотной охлаждающей воде:

- температура  $25\text{--}40 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- жесткость общая  $J_0 \leq 7 \text{ мг-экв}/\text{дм}^3$ ;
- жесткость карбонатная  $J_k \leq 2,5 \text{ мг-экв}/\text{дм}^3$ ;
- щелочность  $3\text{--}4 \text{ мг-экв}/\text{дм}^3$ ;
- минерализация воды  $< 1300 \dots 2000 \text{ мг}/\text{дм}^3$ ;
- окисляемость  $\leq 20 \text{ мг}\text{O}_2/\text{дм}^3$ ;
- БПК  $\leq 200 \text{ мг}\text{O}_2/\text{дм}^3$ ;
- взвешенные вещества  $\leq 50 \text{ мг}/\text{дм}^3$ ;
- масла и смолообразующие вещества  $\leq 20 \text{ мг}/\text{дм}^3$ ;
- хлориды  $\leq 150 \dots 300 \text{ мг}/\text{дм}^3$ ;
- сульфаты  $\leq 350 \dots 500 \text{ мг}/\text{дм}^3$ ;
- рН =  $6,5 \dots 8,5$ ;
- при использовании смеси производственных и очищенных бытовых сточных вод индикаторному микробиологическому показателю безопасности (кишечная палочка (*E. coli*), КОЕ/100 см<sup>3</sup>)  $\leq 100$ ;
- патогенных бактерий и опасных бактерий и вирусов не должно быть.

Особые требования предъявляются к содержанию биогенных элементов (азота и фосфора), вызывающих биологические обрастания в системах производственного водоснабжения.

Кроме вышеперечисленных предъявляются и общие требования к используемой воде:

- вода не должна оказывать отрицательного влияния на качество получаемого продукта;
- не должна приводить к образованию отложений, биообрастаний и коррозии;
- должна обеспечивать требования к санитарно-гигиеническому состоянию рабочих мест;
- из воды должны быть удалены ценные, ядовитые и вредные вещества.

## 4 ОЧИСТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

### 4.1 Методы очистки производственных сточных вод

В зависимости от состава и свойств производственных сточных вод, их загрязненности и специфики загрязняющих веществ, условий повторного использования и отведения в водные объекты или другие приемники сточных вод применяют механический, физико-химический, химический и биологический методы их очистки [18, 27, 28, 34, 36, 37]. При этом могут быть использованы схемы и сооружения, применяемые для очистки бытовых сточных вод, но с учетом специфических особенностей производственных сточных вод.

*Механическая очистка* предназначена для удаления из воды грубодисперсных примесей под действием массовых сил тяжести (седиментация) и в поле центробежных сил и, как правило, применяется для выделения нерастворенных примесей минерального и органического происхождения на решетках, песколовках, ситах, в отстойниках, гидроциклонах, центрифугах, путем фильтрования через слои зернистого материала (песок, антрацит, керамзит, горелые породы, полистирол и т. д.).

К механической очистке также можно условно отнести усреднение и аэрацию, так как единого мнения в литературных источниках нет.

*Физико-химическая очистка* СВ основана на применении процессов коагуляции, флокуляции, сорбции, коалесценции, флотации, ионного обмена, экстракции, эвапорации, гиперфильтрации, кристаллизации, магнитной обработки и др. Также используют методы, которые связаны с наложением магнитного поля – электрокоагуляция, электродиализа и электрофлотация. Эти методы могут применяться как самостоятельно, так и в комплексе с механическими, химическими и биологическими.

*Химическая очистка* применяется в случае, когда выделение загрязнений из СВ возможно только в результате химических реакций между загрязнением и реагентом. При этом загрязнения окисляются или восстанавливаются и переходят в нетоксичные и малотоксичные продукты или в нерастворимые соединения.

К основным химическим методам очистки относятся:

- нейтрализация;
- окисление;
- восстановление.

*Биологическая очистка* СВ состоит в биохимическом окислении органических загрязнений СВ с помощью аэробных или анаэробных бактерий.

*Термическая очистка* – выпаривание, испарение, сжигание, сушка осадков.

Для эффективной очистки сточных вод и правильного выбора метода очистки необходимо знать, в каком состоянии загрязняющие вещества находятся в сточных водах.

Все перечисленные методы делятся на *деструктивные* и *рекуперационные*.

Деструктивные методы связаны с разрушением загрязнений и удалением продуктов разрушения загрязнений (окисление, биохимическая очистка СВ).

При рекуперационном методе происходит выделение ценных веществ, которые могут в дальнейшем использоваться (отстаивание, флотация и т. д.). Загрязнения удаляются в виде газов или осадков.

Если перечисленными методами не добиться требуемого эффекта, то применяют доочистку или глубокую очистку (например, биологически очищенные бытовые СВ часто проходят доочистку на фильтрах с зернистой загрузкой, барабанных сетках, ситах и микрофильтрах или с применением сорбции, флотации, озонирования и т. д.). Факторы, обуславливающие выбор методов очистки производственных сточных вод представлены в таблице 4.1.

**Таблица 4.1 – Особенности применения методов очистки производственных сточных вод**

Факторы, способствующие применению метода	Факторы, препятствующие применению метода
<i>Отстаивание</i>	
1 Большое количество грубодисперсных примесей	1 Большое количество коллоидов и тонких суспензий
2 Хорошее уплотнение осадка	2 Рыхлость и плохое уплотнение осадка
3 Наличие или образование в сточных водах гидроксидов металлов (после реагентной обработки)	3 Резкие колебания температуры сточных вод
	4 Способность осадка к быстрому загниванию или выделению газа за счет химических реакций
<i>Процеживание</i>	
1 Однородность состава и размеров частиц твердой фазы	1 Большое количество коллоидных примесей
2 Наличие волокнистых и хлопьевидных частиц	2 Наличие жиров, смол, мазутов
3 Наличие гидроксидов металлов	3 Повышенная коррозионная активность сточных вод
<i>Адсорбция, ионный обмен</i>	
1 Невысокая концентрация грубодисперсных примесей	1 Высокая концентрация растворенных веществ (солей)
2 Отсутствие конкурирующих ионов или молекул	2 Сильное коллоидное загрязнение сточных вод

Продолжение таблицы 4.1

Факторы, способствующие применению метода	Факторы, препятствующие применению метода
3 Высокая активность ионита или сорбента по извлекаемому веществу	3 Наличие большого количества ПАВ, металлических солей органических одноосновных и многоосновных кислот, аминных солей и др. полярных ионных органических веществ
4 Наличие коллоидных и растворенных соединений	4 Наличие жиров, масел, нефтепродуктов в виде пленки или эмульсии
5 Электролиз полярных частиц (окисление или восстановление их до электронейтральных)	5 Наличие веществ, растворяющих сорбент или ионит
<i>Коагуляция и химическое осаждение</i>	
1 Щелочная среда в сточных водах	1 Наличие веществ, способствующих пептизации (распад агрегатов, образованных в результате сцепления твердых частиц, главным образом в суспензиях и золях; процесс, обратный коагуляции, который имеет важное значение при водоочистке, обогащении минерального сырья, фильтрации осадков, производстве пищевых продуктов) и солубилизации (от позднелат. <i>solubilis</i> – растворимый) (коллоидное растворение), самопроизвольное проникновение низкомолекулярного вещества внутрь мицелл поверхностно-активного вещества или макромолекулярных клубков полимера. Происходит, например, при эмульсионной полимеризации. Одно из явлений, обуславливающих моющее действие образующихся веществ
2 Гидрофобность коллоидных и суспензированных частиц	2 Рыхлость и плохое уплотнение осадков
<i>Флотация</i>	
1 Наличие ПАВ (собирателей и пенообразователей)	1 Присутствие веществ – подавителей флотации, антивспенивателей
2 Присутствие жиров, масел, нефтепродуктов	
3 Наличие волокнистых и хлопьевидных материалов	
<i>Биохимическая очистка</i>	
1 Наличие органических веществ и биогенных элементов	1 Наличие ядов для биоценоза. 2 Низкая температура сточных вод. 3 Сильнокислая или щелочная среда. 4 Наличие ПАВ

Окончание таблицы 4.1

Факторы, способствующие применению метода	Факторы, препятствующие применению метода
<i>Выпаривание</i>	
1 Высокая концентрация солей 2 Наличие веществ, снижающих температуру кипения	1 Содержание вредных летучих веществ. 2 Наличие ПАВ. 3 Высокая коррозионная активность воды и паров

#### 4.2 Усреднение сточных вод. Усреднители состава сточных вод

Концентрации загрязнений и расходы производственных сточных вод сильно колеблются в течение суток. Характер этих колебаний в основном зависит от технологического режима производства и вида предприятия, и, как правило, циклический. Однако, если цикличность в течение суток нарушается или выходит за пределы суток (например, в гальванических производствах сброс некоторых растворов из ванн производится один раз в несколько месяцев), то принято считать такие колебания концентраций загрязнений нециклическими. При этом возможны значительные залповые поступления высококонцентрированных сточных вод.

Высокая концентрация загрязнений отрицательно сказывается на состоянии сетей и оборудования; затрудняет работу очистных сооружений. При поступлении больших залповых расходов расчет очистных сооружений необходимо производить на эти максимумы, что приводит к неоправданному завышению их объемов.

Для ликвидации отрицательных последствий таких сбросов на промышленных предприятиях устраивают усреднители для усреднения расходов и концентраций, что позволяет рассчитывать все последующие сооружения очистки на средние параметры. Из усреднителя сточные воды должны выходить со средней концентрацией загрязнений или же, в крайнем случае, размах колебаний концентраций должен быть уменьшен до степени, не мешающей технологическому процессу очистки.

Чаще применяют усреднители проточного типа, которые выполняются в виде многоканальных резервуаров или резервуаров с перемешивающими устройствами.

Различают следующие типы проточных усреднителей:

- многоканальные – прямоугольные и круглые в плане с неравномерным распределением воды по каналам;
- усреднители-смесители – усреднители с перемешивающими устройствами барботажного типа или с механическим перемешиванием.

Многоканальные усреднители применяются для выравнивания залповых сбросов сточных вод с содержанием взвешенных веществ гидравлической крупностью до 5 мм/с при концентрации до 500 мг/дм<sup>3</sup>. Усреднение в таких устройствах происходит путем распределения потока воды, который делится

на несколько струй, протекающих по коридорам усреднителя. Коридоры имеют разную длину или ширину, поэтому в сборном лотке смешиваются струи воды с различной концентрацией загрязнителей, поступивших в усреднитель в разное время.

Объем усреднителя разделен на коридоры продольными перегородками, число которых рекомендуется принимать  $n = 5 \dots 6$  (рисунок 4.1). По конструктивным соображениям их может быть больше. В водосборный лоток струи с одинаковой концентрацией на входе поступают в разное время. Таким образом, принцип усреднения достигается тем, что длина пути и время движения от распределительного до водосборного лотка в различных коридорах различны; при перемешивании в желобах осуществляется усреднение.

Скорость в коридорах должна быть такой, при которой транспортируются загрязнения. В противном случае необходимо предусматривать непрерывный или периодический барботаж сжатым воздухом. Воздушные трубы диаметром 50–85 мм располагают на расстоянии 0,07–0,1 м от дна горизонтально.

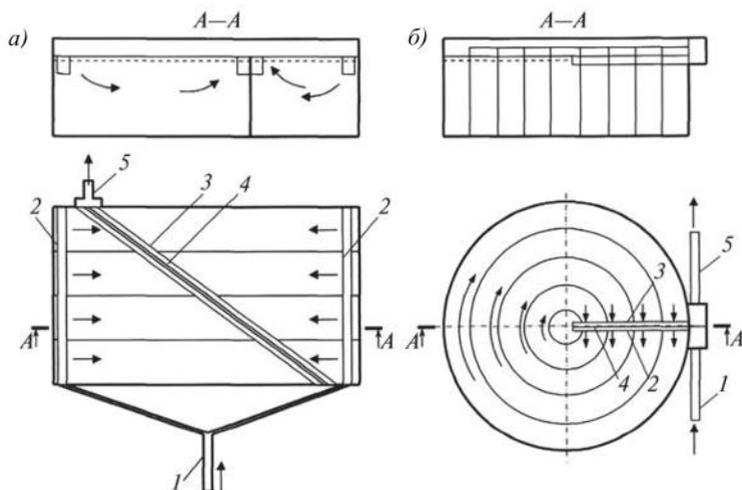


Рисунок 4.1 – Многоканальные усреднители с различной длиной каналов:

*а* – прямоугольный; *б* – круглый;

*1* – канал подачи воды; *2* – распределительный лоток; *3* – сборный лоток;

*4* – глухая перегородка; *5* – канал отвода воды

Другой принцип усреднения – использование различной ширины каналов (рисунок 4.2). Распределение сточных вод по каналам осуществляется через донные выпуски расчетного диаметра. Для регулирования расходов воды по каналам в стенке распределительного лотка устраивают прямоугольные водосливы с шиберами.

Для малых расходов иногда используют усреднители периодического действия – круглые или прямоугольные резервуары с перемешиванием воды в них воздухом с интенсивностью от 6 до 24 м<sup>3</sup> на 1 пог. м воздухораспределительных труб в час. При больших расходах применяются проточные усреднители различных конструкций.

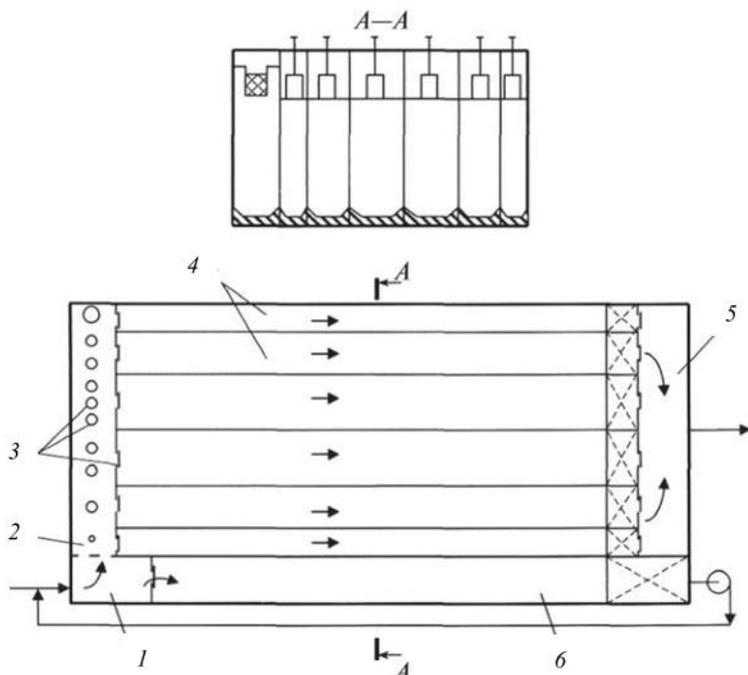


Рисунок 4.2 – Многоканальный усреднитель с распределением воды по каналам разной ширины:

1 – приемная камера; 2 – распределительный лоток; 3 – донные выпуски и боковой водослив с шибером; 4 – каналы; 5 – камера усредненных сточных вод; 6 – аккумулирующая емкость

Усреднитель-смеситель барботажного типа (рисунок 4.3) применяют для усреднения состава сточных вод с содержанием взвешенных веществ гидравлической крупностью до 10 мм/с при концентрации до 500 мг/дм<sup>3</sup> при любом режиме их поступления. Усреднение в этом случае достигается с помощью интенсивного перемешивания, обеспечиваемого барботированием сточных вод воздухом.

Одним из важных условий эффективного усреднения является максимально равномерное распределение сточных вод по площади усреднителя барботажного типа. Для этого используются системы подающих лотков с придонными водосливными окнами или треугольными водосливами.

Наиболее целесообразна самотечная подача сточных вод, в противном случае (при напорной подаче) перед усреднителем необходимо устанавливать колодец гашения напора.

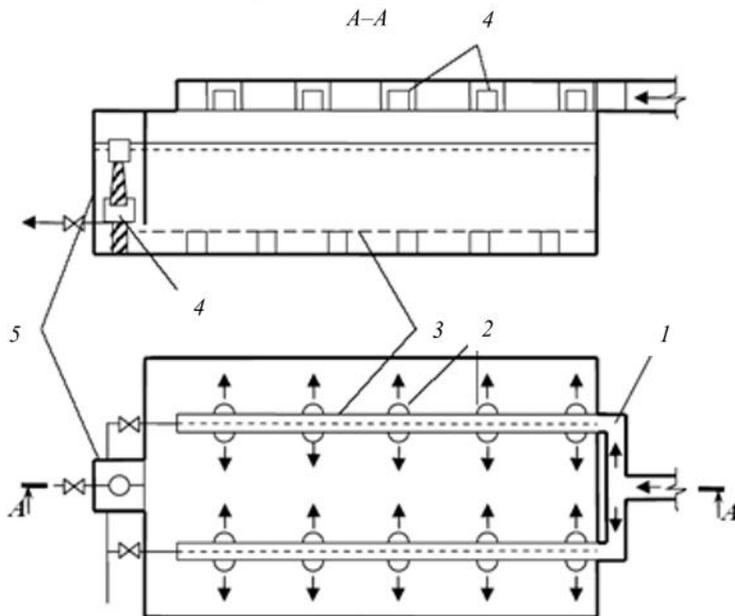


Рисунок 4.3 – Усреднитель с барботированием воды:  
 1 – подающий лоток; 2 – впускные отверстия; 3 – барботер; 4 – выпускное устройство;  
 5 – выпускная камера

В качестве барботеров используются перфорированные трубы с отверстиями диаметром 3–5 мм, прокладываемые горизонтально на подставках высотой 6–10 мм. Расстояние между отверстиями – 30–60 мм, отверстия располагаются в нижней его половине. Барботеры бывают пристенные, которые создают один циркуляционный поток, и промежуточные, создающие два циркуляционных потока. Интенсивность барботаж для перемешивания 2–3 (6) м<sup>3</sup>/ч на 1 пог. м пристенного барботера и 4–6 (12) м<sup>3</sup>/ч на 1 пог. м – промежуточного. Они располагаются пристенно или в центре коридора на глубине 0,07–0,1 м от дна. Расстояние между ними (2–3)H. Для периодического перемешивания взвешенных веществ и предотвращения выпадения их в осадок интенсивность подачи воздуха составляет 12–24 м<sup>3</sup>/ч на 1 пог. м.

Усреднитель-смеситель с механическим перемешиванием применяют для усреднения состава сточных вод с содержанием состава взвешенных веществ более 500 мг/дм<sup>3</sup> для предотвращения их выпадения при любом режиме их

поступления. Усреднители в этом случае оборудуются механическими мешалками, отстойной зоной и устройствами для удаления образующегося осадка.

Недостатки механического перемешивания:

- большие затраты электроэнергии;
- необходимость использования механизмов в агрессивной среде.

Для перемешивания различных потоков сточных вод возможно применение обратного тока сточных вод циркуляционными насосами.

Усреднители следует устанавливать после отстойников или оборудовать их отстойной частью с целью облегчения эксплуатации. Расчет отстойной части необходимо проводить по данным кинетики осаждения взвешенных веществ, аналогично расчету отстойников. При этом необходимо учитывать гидродинамический режим выбранного типа усреднителя.

Расчет объема усреднителя производится в зависимости от требований к расходу и концентрации загрязняющих веществ на выходе из усреднителя, а также характера колебаний в потоке.

Объем усреднителя определяется в зависимости от графика колебаний концентрации загрязнений и расходов сточных вод.

Графики колебаний концентрации загрязнений могут быть циклическими (рисунок 4.4, а) и нециклическими (рисунок 4.4, б).

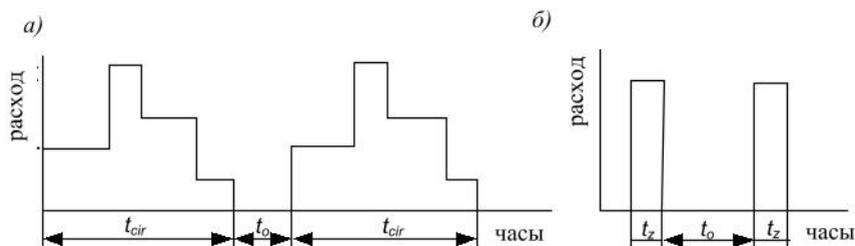


Рисунок 4.4 – Графики колебаний концентраций загрязнений:  
а – циклические; б – нециклические

При циклическом графике колебаний концентрации загрязнений емкость резервуара-усреднителя обычно принимается равной объему сточных вод за период цикла  $W = Q_{ц}$ . При этом  $C = C_{ср}$ . В литературе приводятся различные зависимости для определения объема усреднителей, отражающих их конструктивные особенности и специфику работы (залповый сброс, циклические колебания, произвольные (случайные) колебания).

При нециклическом графике колебаний концентрации загрязнений для получения средней концентрации необходимо принимать  $W = Q_{ср}$ , что бывает экономически нецелесообразно. В этом случае роль усреднителя, как правило, сводится к сглаживанию пиковых концентраций.

## **5 МЕХАНИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД**

### **5.1 Особенности процессов гравитационного отделения дисперсных примесей. Отстойники тонкослойные. Отстойники специального назначения**

Для обработки производственных сточных вод процеживанием в зависимости от вида и размеров удаляемых примесей применяются решетки, сита, сетки, комбинированные установки, включающие процеживатели с системами удаления песка и всплывающие примесей, процеживатели с измельчителями. Процессы процеживания применяют для выделения из сточных вод крупных плавающих веществ и более мелких, главным образом волокнистых, загрязнений. Для выделения крупных веществ используют решетки, а более мелких частиц – сетки, волокнуловители.

*Решетки* применяются для задержания из производственных сточных вод крупных и волокнистых материалов и являются сооружениями предварительной очистки. Их основным элементом является рама с рядом металлических стержней, расположенных параллельно друг другу и создающих плоскость с прозорами, через которую процеживается обрабатываемая сточная вода. Расчет и проектирование их аналогичны расчету и проектированию решеток для очистки бытовых сточных вод.

*Барабанные сетки и сита* применяются для задержания крупноразмерных примесей и снижения содержания взвешенных веществ. Одним из важных факторов применения барабанных сеток для механической очистки сточных вод – в исходной воде должны отсутствовать вещества, затрудняющие промывку сетки (масла, нефтепродукты, смолы, жиры), а содержание взвешенных веществ не должно превышать  $250 \text{ мг/дм}^3$ .

*Волокнуловители.* Для удаления волокнистых примесей из сточных вод предприятий используют волокнуловители разных конструкций [34, 28]:

- волокнуловитель дискового типа;
- волокнуловитель транспортерного типа;
- волокнуловитель лоткового типа;
- волокнуловитель барабанного типа;
- волокнуловитель горизонтального типа;
- дисковый инерционный волокнуловитель;
- эффективный барабанный волокнуловитель.

Разные типы волокнуловителей характеризуются разными техническими параметрами по производительности и по эффективности задержки ценного сырья волокон шерсти.

Наиболее популярные дисковые волокнуловители представляют собой перфорированный диск или наклонную сетку, по поверхности которой распределяются сточные воды. Задержанные примеси удаляются с поверхности диска скребковым механизмом.

Волокнуловители чаще всего применяются для удаления волокнистых веществ из сточных вод целлюлозно-бумажных, текстильных предприятий, предприятий кожевенной и шерстяной промышленности.

*Песколовки.* Для задержания тяжелых нерастворимых примесей, преимущественно песка, применяются песколовки различных конструкций. Расчет и проектирование их аналогичны расчету и проектированию песколовки для очистки бытовых вод. Применение их в схемах очистки производственных сточных вод улучшает работу последующих очистных сооружений и облегчает их эксплуатацию.

*Отстойники.* Для отстаивания взвешенных веществ используют горизонтальные, вертикальные и радиальные отстойники, а также тонкослойные.

Расчет их производится аналогично отстойникам, применяемым в бытовой канализации, исходя из необходимого времени отстаивания для достижения заданного эффекта очистки. Тип отстойника следует выбирать в соответствии с требованиями СН 4.01.02-2019 [3] с учетом данных таблицы 5.1, в зависимости от расхода сточных вод и необходимого эффекта осветления.

**Таблица 5.1 – Производительность и эффект осветления отстойников различных типов**

Тип отстойника	Производительность очистой станции, тыс. м <sup>3</sup> /сут	Эффект осветления, %
1 Горизонтальный	Более 15	От 50 до 60
2 Вертикальный	От 2 до 20	40
3 Вертикальный с нисходяще-восходящим потоком		От 60 до 65
4 Радиальный	Более 20	От 50 до 55
5 С вращающимся сборно-распределительным устройством	Более 20	80
6 Тонкослойный	–	65

В последнее время в Республике Беларусь и за рубежом возрастает применение тонкослойных отстойников.

Отстаивание жидкости в них осуществляется в тонкослойных элементах полочного или трубчатого типа с малой глубиной (от 25 до 250 мм). Уменьшение глубины осаждения сокращает продолжительность отстаивания и

обеспечивает ламинарный режим течения воды, благоприятный для осаждения мелкодисперсных взвешенных веществ.

Для изготовления тонкослойных элементов применяются самые различные материалы: листовая сталь, алюминий, стекло, полимерные пленки, пластмасса и т. п. Они должны быть стойкими, долговечными, легкими и обеспечивать беспрепятственное сползание осадка. Блоки тонкослойных элементов могут занимать только часть отстойника и располагаться у водосборного или водораспределительного периферийного лотка.

По направлению течения жидкости в тонкослойных элементах различают тонкослойные отстойники с горизонтальным, радиальным и восходящим (вертикальным) течением. Их разделительная способность во много раз выше разделительной способности обычных отстойников.

Осаждение взвешенных веществ происходит в наклонных элементах малой высоты. При этом обеспечиваются быстрое выделение взвешенных веществ и их сползание по наклонной плоскости в зоны хлопьеобразования и осадкоуплотнения.

На рисунке 5.1 представлены радиальный и горизонтальный отстойники, на рисунке 5.2 – радиальный отстойник с тонкослойными блоками.

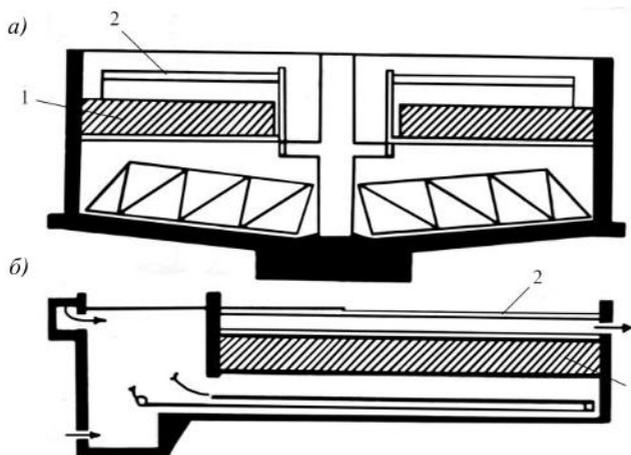


Рисунок 5.1 – Радиальный (а) и горизонтальный (б) отстойники, оборудованные блоками трубчатых тонкослойных элементов с восходящим течением жидкости:

1 – блоки тонкослойных элементов; 2 – лотки рассредоточенного поверхностного водосбора

К преимуществам тонкослойных отстойников относятся устойчивость их работы при значительных колебаниях расхода поступающей воды, изменения ее температуры и концентрации загрязнений.

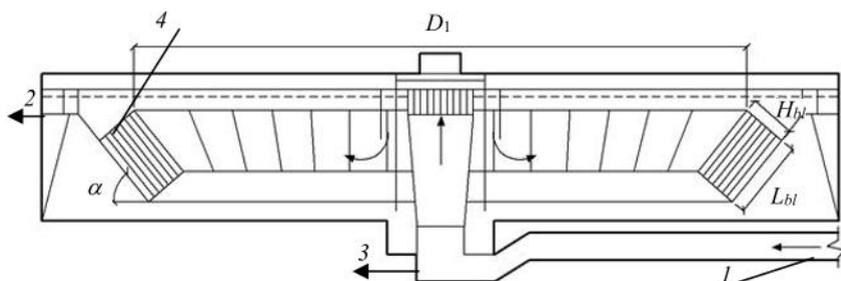


Рисунок 5.2 – Радиальный отстойник с тонкослойными блоками, установленными у водосборного лотка:  
 1 – подача сточной воды; 2 – трубопровод очищенной воды; 3 – трубопровод осадка;  
 4 – блоки тонкослойных элементов

**Нефтеловушки** применяются на предприятиях железнодорожного транспорта, нефтепромыслах, нефтеперерабатывающих заводах и др. случаях для задержания грубодисперсных нефтяных частиц ( $d = 80 \dots 100$  мкм) при концентрации нефтепродуктов в сточной воде более  $100 \text{ мг/дм}^3$ . В основном применяются нефтеловушки трех типов: горизонтальные, радиальные и тонкослойные. Наиболее распространенным типом считаются горизонтальные нефтеловушки (рисунок 5.3).

Одновременно в них задерживаются механические примеси. Нефтеловушки представляют собой горизонтальные прямоугольные в плане отстойники глубиной от 1 до 2 м, шириной до 3–6 м, оборудованные устройствами для задержания и сбора нефтепродуктов. Сточная вода по подводящей трубе поступает в лоток, из которого, переливаясь через водослив, попадает в приемное отделение, а оттуда через вертикальные щели в распределительной перегородке входит в отстойную зону и движется в ней горизонтально со скоростью обычно не более 4–6 мм/с в течение около 2 ч. Затем очищенная вода протекает под полупогруженной нефтеудерживающей стенкой и собирается в сборный лоток. При этом тяжелые взвешенные вещества оседают на дно сооружения, а легкие нефтепродукты всплывают на поверхность воды. Выпавший на дно осадок скребком, приводимым в движение от лебедки, периодически сгребается в приямок, откуда удаляется гидроэлеватором, насосом или ассенизационной машиной. Всплывшие на поверхность нефтепродукты сгоняются скребком к поворотным нефтесборным трубам диаметром  $d = 300$  мм и через продольные щели шириной около 30–50 мм сливаются в них. Далее по этим трубам нефтепродукты отводятся в нефтесборные резервуары.

Расчет горизонтальных нефтеловушек производится на максимальный приток сточных вод  $q_m$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ . Рекомендуется принимать скорость движения воды  $v = 4 \dots 6$  мм/с, а гидравлическую крупность (скорость всплывания задерживаемых нефтяных частиц)  $U_0 = 0,4 \dots 0,6$  мм/с.

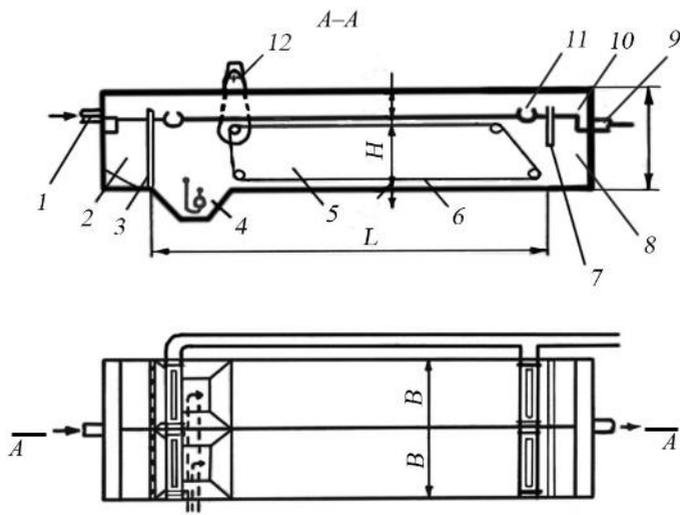


Рисунок 5.3 – Типовая нефтелушка:

1 – подводящий трубопровод; 2 – приемная камера; 3 – распределительная перегородка; 4 – приямок для осадка с гидроэлеватором; 5 – отстойная зона; 6 – скребковое устройство; 7 – нефтеудерживающая перегородка; 8 – выпускная камера; 9 – водоотводящий трубопровод; 10 – водосборный лоток; 11 – поворотные щелевые трубы (могут быть заменены поплачковым устройством конструкции ЛИИЖТа); 12 – привод скребков

Тонкослойные нефтелушители (рисунок 5.4) применяются для задержания грубодисперсных и эмульгированных нефтяных частиц, а также минеральных примесей. Они отличаются от обычных нефтелушителей наличием в отстойной зоне блоков тонкослойных элементов.

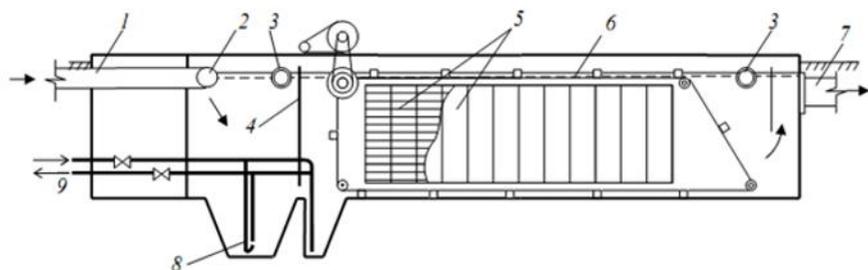


Рисунок 5.4 – Горизонтальная тонкослойная нефтелушка:

1 – подводящая труба; 2 – водораспределительная труба; 3 – нефтесборная труба; 4 – щелевая распределительная перегородка; 5 – тонкослойный модуль; 6 – скребковый транспортер; 7 – трубопровод отвода осветленной воды; 8 – гидроэлеватор; 9 – отвод осадка

**Смоло-маслоуловители** применяются в водоотводящих системах промышленных предприятий для извлечения масел и смол. На железнодорожном транспорте используются для очистки сточных вод шпалопропиточных

заводов от масляных антисептиков, содержащих как легкие, так и тяжелые фракции. Обычно они устраиваются в виде горизонтальных или вертикальных отстойников. Лучший эффект дают вертикальные смоло-маслоуловители.

На рисунке 5.5 представлена схема устройства радиального смоло-маслоуловителя. Особенностью его конструкции является наличие в центре открытого гидроциклона, что повышает эффект очистки воды; кроме того, в нем предусмотрена также возможность интенсификации отстаивания воды за счет флотации эмульгированных загрязнений путем добавления в поступающую на очистку сточную воду части рециркулирующей воды, насыщенной воздухом в напорном баке флотационной установки, которая предусмотрена технологической схемой очистки после смоло-маслоуловителей.

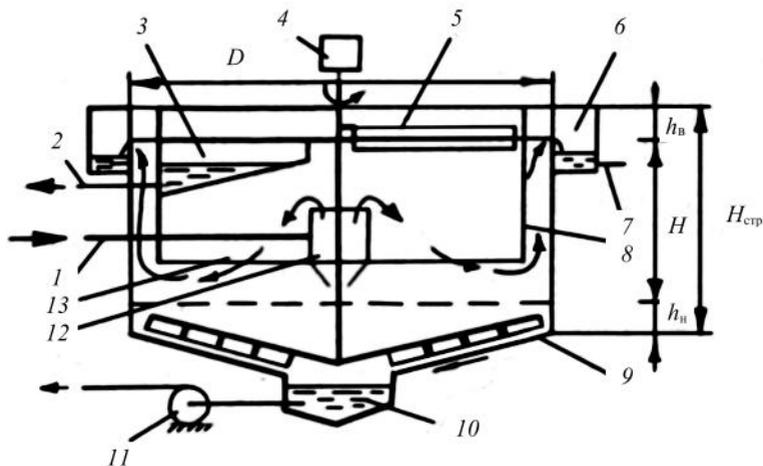


Рисунок 5.5 – Схема смоло-маслоуловителя:

1 – подводящий трубопровод; 2 – трубопровод для отвода легких масел и смол; 3 – лоток для сбора всплывающих масел и смол; 4 – электропривод скребков; 5 – верхний скребок для сгребания легких масел и смол; 6 – кольцевой водосборный лоток; 7 – отводящий трубопровод;

8 – подвесная кольцевая перегородка; 9 – донный скребок для сгребания тяжелых смол;

10 – сборник тяжелых смол; 11 – насос для откачки тяжелых смол;

12 – открытый гидроциклон; 13 – зона отстаивания

Работа смоло-маслоуловителя состоит в следующем. Сточная вода по подводящему трубопроводу поступает в открытый гидроциклон, где освобождается от грубодисперсных оседающих и всплывающих смол и масел. Из гидроциклона вода попадает в зону отстаивания, где освобождается от более мелких частиц смол и масел. Средняя скорость движения воды в отстойной зоне горизонтальных и радиальных смолоуловителей обычно принимается  $v = 2$  мм/с; в вертикальных  $v = 0,5$  мм/с. Тяжелые частицы оседают вниз, а легкие всплывают на поверхность воды и удерживаются в сооружении под-

весной кольцевой перегородкой. Очищенная вода собирается кольцевым лотком и отводится по отводящей трубе. Для сгребания тяжелых смол в сборник для смол и легких смол и масел в радиальный лоток служат донный скребок и верхний скребок с электроприводом. Легкие масла и смолы отводятся из лотка по трубопроводу самотеком, а тяжелые смолы откачиваются насосом. В необходимых случаях предусматривается нагрев смолы паром.

**Жируловители.** Для улавливания жира и масел (столовые, фабрики-кухни, маслозаводы, мясокомбинаты, фабрики по переработке шерсти) устраиваются жируловители:

- цеховые, рассчитанные на время отстаивания  $T = 5 \dots 7$  мин;
- общие,  $T = 1 \dots 1,5$  ч.

Чаще всего они устраиваются в виде горизонтальных емкостей, в начале и в конце которых имеются полупогруженные перегородки для задержания жира, сбор и отведение которого производится щелевыми трубами. Канализационные трубопроводы от жируловителей необходимо оборудовать ревизиями и прочистками для периодической промывки горячей водой или паром. Для повышения эффективности очистки применяются аэрируемые жируловители (рисунок 5.6).

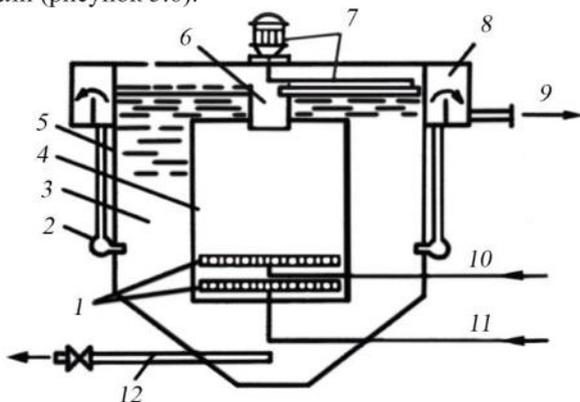


Рисунок 5.6 – Аэрируемая жируловушка:

- 1 – реактивное водораспределительное устройство; 2 – водосборный коллектор; 3 – зона отстаивания; 4 – зона флотации; 5 – корпус; 6 – лоток для сбора жировой массы; 7 – привод и скребок; 8 – кольцевой сборник; 9 – очищенные воды; 10 – сточные воды; 11 – водовоздушная эмульсия; 12 – осадок

## 5.2 Особенности процесса фильтрования производственных сточных вод. Конструкции фильтров с зернистыми загрузками. Фильтры с полимерными загрузками

Фильтры нашли широкое применение для доочистки производственных сточных вод, содержащих мелкодисперсные взвешенные вещества, эмульги-

рованные масла, смолы и нефтепродукты. Их устанавливают после отстаивания, флотации, биологической очистки, перед выпуском их в водные объекты или подачи на повторное использование. Применяются открытые безнапорные и закрытые напорные фильтры (рисунок 5.7). Определенными преимуществами с точки зрения эффективности отмывки загрязнений с загрузки обладают каркасно-засыпные фильтры.

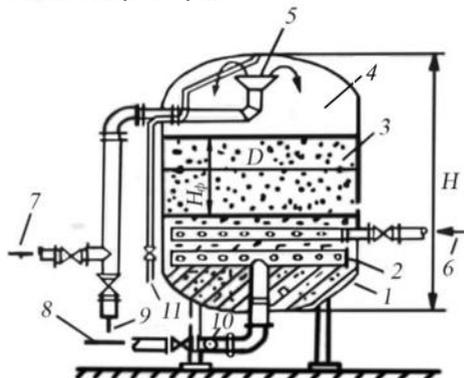


Рисунок 5.7 – Схема напорного фильтра:

1 – поддерживающий гравийный слой; 2 – распределительная система высокого сопротивления; 3 – песчаная загрузка; 4 – корпус фильтра; 5 – трубчатая система или воронка для подачи исходной и отвода промывной воды; 6 – подача воздуха при промывке; 7 – подача исходной воды; 8 – отвод промывной воды; 9 – подача промывной воды; 10 – отвод фильтрата; 11 – отвод воздуха

Напорные фильтры промышленного изготовления, представляющие собой вертикальный или горизонтальный стальной резервуар, рассчитанный на давление до 6 МПа, нашли широкое применение для обработки воды на локальных очистных сооружениях. После таких фильтров под остаточным напором вода может быть подана непосредственно в оборотную систему предприятия. В качестве загрузки фильтра используются те же зернистые материалы, что и для безнапорных фильтров: кварцевый песок, дробленый антрацит, керамзит, шунгизит, обладающие большой грязеемкостью и легко регенерируемые.

На фильтры с зернистой загрузкой допускается подача сточной воды с концентрацией нефтепродуктов до  $50 \text{ мг/дм}^3$  и взвешенных веществ до  $100 \text{ мг/дм}^3$ .

Количество рабочих фильтров  $N_{\phi} = 2$ , при их числе до четырех принимается один резервный фильтр. Фильтры промывают очищенной водой при подаче ее снизу вверх. Наиболее высокий эффект промывки загрузки от нефтепродуктов достигается при использовании воды, нагретой до  $60\text{--}80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Интенсивность водяной промывки  $10\text{--}12 \text{ л/с}$  в течение  $12\text{--}14 \text{ мин}$ . Применяется также водовоздушная промывка.

При расчете безнапорных фильтров  $v_{\phi} = 5 \dots 7 \text{ м/ч}$ .

В последнее время стали применяться фильтры с плавающей загрузкой из синтетических материалов, позволяющие повысить скорость фильтрования, уменьшить продолжительность фильтроцикла и сократить затраты на очистку (рисунок 5.8). Наиболее эффективными являются фильтры марок ФПЗ-3, ФПЗ-4. Загрузка фильтров состоит из гранул, крупность которых уменьшается по направлению движения воды (сверху вниз). После кольматации необходима регенерация загрузки. Высота загрузки составляет 1–1,2 м.

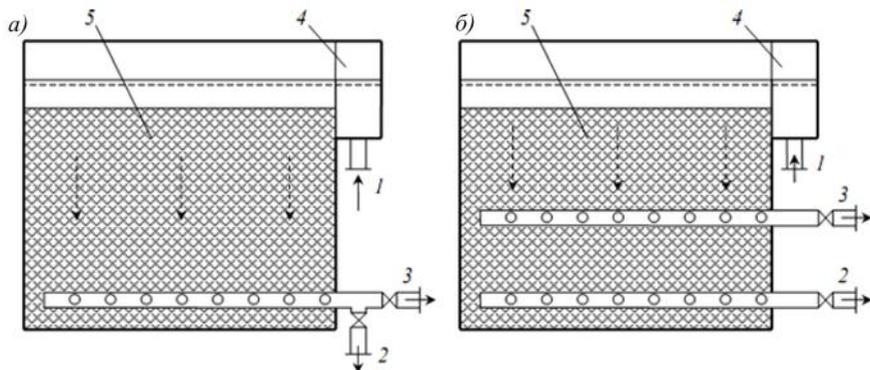


Рисунок 5.8 – Фильтры с плавающей загрузкой:  
 а – ФПЗ-3; б – ФПЗ-4; 1 – подвод воды; 2 – отвод промывной воды; 3 – отвод фильтрата;  
 4 – распределительный карман; 5 – плавающая загрузка

Такие фильтры используются для доочистки производственных (механически очищенных) и городских (биологически очищенных) сточных вод.

### 5.3 Разделение в поле центробежных сил. Назначение и область применения гидроциклонов. Особенности конструкций открытых, многоярусных и напорных гидроциклонов

Осаждение взвешенных веществ в гидроциклонах и центрифугах происходит под действием центробежной силы, которая может в десятки раз превышать силу тяжести. Поэтому осаждение взвешенных веществ в этих аппаратах происходит за более короткий срок, соответственно, объем их меньше объема отстойника.

Гидроциклоны используются для осветления сточных вод, сгущения осадков, обогащения известкового молока, отмывки песка от органических веществ. Гидроциклоны разделяются на два основных типа: открытые (безнапорные) и закрытые (напорные).

Центробежная сила возникает при тангенциальном вводе жидкости в аппарат. В конической (нижней) части накапливается осадок, который осаждается в результате агломерации взвешенных частиц.

Открытые гидроциклоны (рисунок 5.9) применяются для выделения всплывающих и оседающих примесей с гидравлической крупностью  $U_0 = 0,2$  мм/с, а также скоагулированных взвешенных веществ. Открытые гидроциклоны применяются пяти типов:

- без внутренних устройств (вставок) – применяются для задержания крупно- и мелкодисперсных примесей гидравлической крупностью 5 мм/с и более;

- с конической диафрагмой – применяются для задержания мелкодисперсных примесей гидравлической крупностью более 0,2–0,3 мм/с при расходах до 200 м<sup>3</sup>/ч;

- с конической диафрагмой и внутренним цилиндром. Цилиндрическая перегородка способствует возникновению циркуляционного замкнутого потока, который улучшает качество очистки;

- многоярусные с центральным выпуском. Конические диафрагмы делят весь объем гидроциклона на отдельные ярусы, работающие независимо друг от друга;

- многоярусные с периферийным выпуском. Конические диафрагмы специальной конструкции, которые направляют движение воды в четных ярусах прямооточно, в нечетных – противоточно движению осадка (т. е. от центра к периферии). Благодаря этому, осадок, сползающий вниз, меньше размывается потоком воды.

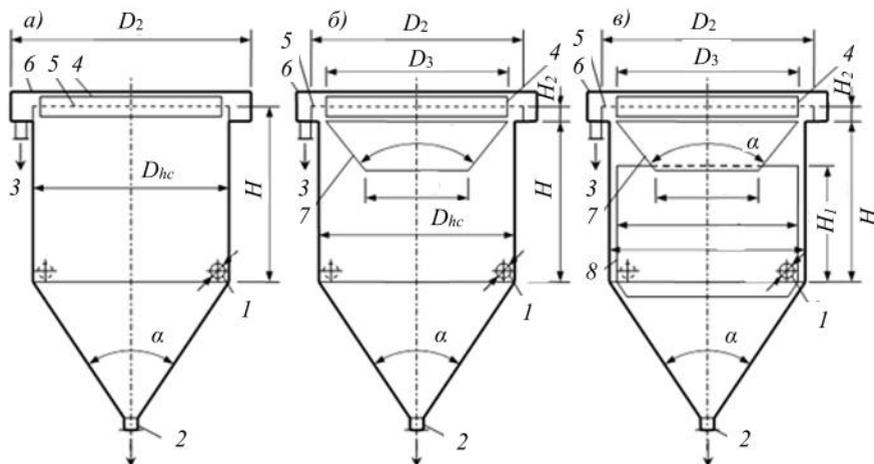


Рисунок 5.9 – Схемы открытых гидроциклонов:

*a* – без внутренних устройств; *б* – с конической диафрагмой; *в* – с конической диафрагмой и внутренним цилиндром; 1 – подающая труба; 2 – шламootводящая труба; 3 – отводящая труба; 4 – полупогружная кольцевая стенка; 5 – кольцевой водослив; 6 – водосборный кольцевой лоток; 7 – коническая диафрагма; 8 – цилиндрическая перегородка

Расчет гидроциклона заключается в определении производительности и размеров, обеспечивающих выделение частиц заданной крупности.

Открытые гидроциклоны, обычные и многоярусные (рисунок 5.10), позволяют выделять нефтепродукты и тяжелые механические примеси. На транспортных предприятиях возможно их применение в составе очистных сооружений для грубой очистки сточных вод при расходах более 30–50 м<sup>3</sup>/ч, когда невозможно применение нефтеловушек или флотаторов-отстойников.

Напорные гидроциклоны (рисунок 5.11) применяют для выделения из воды тяжелых примесей, главным образом минерального происхождения, например:

- песка, глины и т. д. (стекольные заводы, автохозяйства);
- компонентов формовочной земли (литейное производство);
- жира и твердой фазы минерального и органического происхождения (мясокомбинаты);
- нефтепродуктов и шламов (нефтепромыслы);
- частиц минерального происхождения (свиноводческие комплексы).

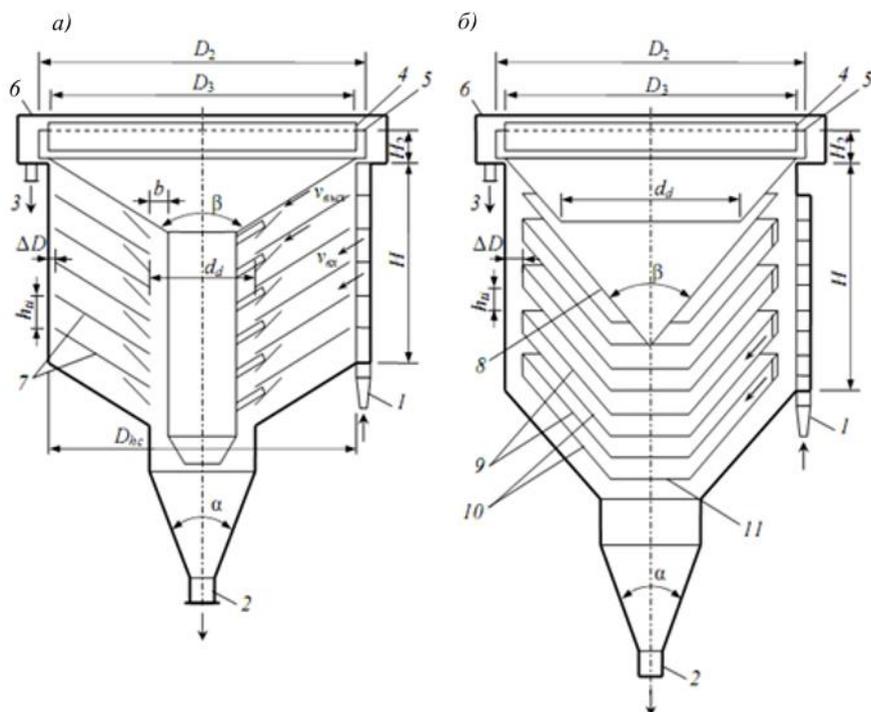


Рисунок 5.10 – Схемы многоярусных гидроциклонов:

- а* – с центральным выпуском; *б* – с периферийным выпуском; 1 – подающая труба; 2 – шламоотводящая труба; 3 – отводящая труба; 4 – полупогружная кольцевая стенка; 5 – кольцевой водослив; 6 – водосборный кольцевой лоток; 7 – коническая диафрагма; 8 – направляющая диафрагма; 9 – промежуточные диафрагмы; 10 – нижние диафрагмы; 11 – шламоотводящая шахта

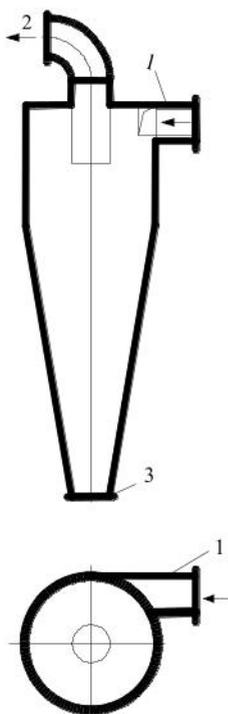


Рисунок 5.11 – Напорный гидроциклон:

- 1 – питающий патрубок;
- 2 – сливной патрубок;
- 3 – грязевой патрубок

- высокая гидравлическая нагрузка;
- малый расход материалов;
- простота обслуживания и наладки;
- отсутствие движущихся элементов;
- возможность использования в замкнутой системе очистки.

*Недостатки:*

- высокая энергоемкость;
- значительный износ.

Для повышения эффективности используется последовательное соединение гидроциклонов в одну, две или три ступени.

В промышленности используются мультигидроциклоны монолитные или сборные блочные конструкции, включающие десятки или сотни единичных напорных гидроциклонов, имеющих единые питающие, сливные и шламовые

Напорный гидроциклон представляет собой закрытый конический сосуд с цилиндрической верхней частью, на которой размещены входной и отводящий патрубки. Входной патрубок расположен тангенциально и заканчивается впускной насадкой, обеспечивающей скорость входа в аппарат не менее 6–8 м/с, вследствие чего обрабатываемая вода приобретает интенсивное вращательное движение. Под действием возникающей центробежной силы частицы тяжелых взвешенных веществ отбрасываются к стенкам гидроциклона и сползают вниз под действием силы тяжести, где удаляются с частью воды через грязевой насадок. Очищенная вода отводится через верхний отводящий патрубок. Под грязевым патрубком размещают соединенный с гидроциклоном промежуточный бункер, а под ним контейнер для сбора осадка (пульпы), который периодически вывозится. В водоотводящих системах промышленных предприятий применяются напорные гидроциклоны диаметром  $D$  от 20 до 500 мм, производительностью от 0,3 до 300 м<sup>3</sup>/ч, а также мультициклоны – батарейные установки из нескольких десятков гидроциклонов малого диаметра. На транспорте обычно используются гидроциклоны диаметром  $D = 100 \dots 150$  мм.

*Преимущества* напорных гидроциклонов:

- простота конструкции;
- высокая компактность;

камеры. Путем создания мультигидроциклонов успешно реализуется возможность промышленного применения высокоэффективных двухпродуктовых и многопродуктовых устройств.

Гидроциклоны малых диаметров объединяются в батареи и блоки (мультициклоны), что позволяет при обеспечении требуемого эффекта очистки и производительности добиться максимальной компактности установки.

Батарейные гидроциклоны имеют единую систему питания, а также системы сбора верхнего и нижнего продуктов разделения.

Количество резервных аппаратов при опасности абразивного износа – 25 % от числа рабочих; для обычных условий: один – при числе аппаратов до 10; два – при их числе до 15 и по одному на каждые 10 – при числе их более 15.

*Осадительные центрифуги* непрерывного и периодического действия (рисунок 5.12) следует применять для выделения из сточных вод мелкодисперсные взвешенные вещества, когда для ее выделения не могут быть применены реагенты, а также при необходимости извлечения из осадка ценных продуктов и их утилизации.

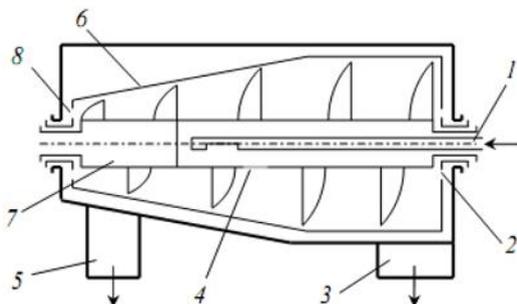


Рисунок 5.12 – Схема центрифуги:

1 – подача воды; 2 – сливные отверстия; 3 – сливная труба; 4 – отверстие для осадка;  
5 – труба осадка; 6 – ротор; 7 – полый шнек; 8 – окна

Центрифуги непрерывного действия применяют:

- при  $Q$  до  $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;
- гидравлической крупности  $0,2\text{--}0,5 \text{ мм/с}$ .

Центрифуги периодического действия применяют:

- при  $Q$  до  $20 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;
- гидравлической крупности  $0,05\text{--}0,01 \text{ мм/с}$ .

Принцип работы: сточная вода подается внутрь вращающегося ротора, при этом наиболее тяжелые частицы осадка отжимаются к внутренней поверхности ротора. Шнек и ротор вращаются с различной частотой, вследствие чего осажденная фаза выгружается из ротора. Фугат (осветленная вода) вытекает через сливную трубу.

## 5.4 Применение мембранных технологий

Методы мембранного разделения, используемые в технологии очистки сточных вод, применяются для удаления растворенных и коллоидных частиц, бактерий, вирусов и извлечения ценных или ядовитых (ртуть) и радиоактивных веществ. Все методы мембранного разделения условно можно разделить на микрофильтрацию, ультрафильтрацию, обратный осмос, испарение через мембраны, диализ, электродиализ. Наибольшие успехи в отношении эффективности и технологичности очистки сточных вод от растворенных примесей достигнуты при использовании обратного осмоса, ультрафильтрации и электродиализа.

Мембраны используют для обессоливания и для осветления. Мембраны могут быть нейтральными или электрически заряженными. Заряженные мембраны катионитные, пропускающие только катионы, и анионные, пропускающие только анионы, используются в процессах электродиализа, например при обессоливании воды.

Размеры частиц, задерживаемых при мембранной сепарации, зависят от размера пор мембраны.

По порогам разделения (размерам пор и давлению) различают мембраны:

– *обратного осмоса (гиперфильтрации (ГФ))*, пропускающие воду и задерживающие все соли с размерами пор 0,0001–0,0010 мкм при рабочем давлении 0,85–7,00 МПа;

– *нанофильтрации (НФ)* – это мембраны обратного осмоса, задерживающие поливалентные ионы и органические вещества (молекулярная масса ~ 300 г/моль) с размерами пор более 0,001–0,010 мкм и рабочим давлением 0,5–1,0 МПа. Не задерживают растворимые минеральные соли;

– *ультрафильтрации (УФ)*, задерживающие макромолекулы с порами от 0,005 до 0,200 мкм и рабочим давлением 0,07–0,70 МПа. Задерживают только коллоиды и вирусы. Не задерживают красители, соли жесткости, пестициды, растворимые минеральные соли;

– *микрофильтрации (МФ)*, задерживающие загрязнения с размерами пор 0,08–2,00 мкм при рабочем давлении 0,007–0,100 МПа; они пропускают все растворенные формы и задерживают только нерастворенные твердые частицы.

Мембраны обессоливания подразделяются на мембраны обратного осмоса и мембраны нанофильтрации, а мембраны осветления – на мембраны ультрафильтрации и микрофильтрации. Поры мембран ультрафильтрации имеют размер в 1000 раз меньше пор человеческой кожи. В мембранных процессах разделения используются свойства полупроницаемости мембран. Они являются проницаемыми для воды и некоторых растворенных веществ, но не проницаемы для других растворенных веществ и взвешенных дискретных частиц. Так, если при обычной фильтрации через слой песка могут полностью задерживаться частицы до 5 мкм, то при микрофильтрации выделяются более

мелкие частицы, а ультрафильтрация в зависимости от типа мембраны обеспечивает выделение еще более мелких частиц с молярной массой 10–100 г/моль.

Гиперфильтрацией отделяются частицы с молекулярной массой от нескольких сот граммов/моль (в 10–100 раз меньше УФ).

Мембраны представляют собой плоские или трубчатые изделия из синтетических материалов. Конструкции их весьма разнообразны.

Мембраны различают:

- по материалу (ацетатцеллюлозные, полиамидные, керамические);
- удельной производительности;
- долговечности, которая зависит от pH среды, температуры, материала мембраны;
- рабочему давлению (мембраны обессоливания 2,5–8 МПа, мембраны осветления < 0,2 МПа);
- селективной способности (солепроницаемости), т. е. разной степени извлечения определенных загрязнений.

Основной характеристикой мембранной установки является коэффициент выхода фильтрата (пермеата)  $K_{\phi} = 10 \dots 90 \%$ ,

$$K_{\phi} = \frac{Q_{\phi}}{Q} \cdot 100 \%, \quad (5.1)$$

где  $Q_{\phi}$  – расход фильтрата установки;

$Q$  – расход подаваемой воды.

До мембраны происходит концентрирование примесей. Для предотвращения отложений и забивания мембраны необходимо контролировать эту концентрацию. Она связана с коэффициентом  $K_{\phi}$  и исходной концентрацией примесей  $C_e$

$$C_k = \frac{100C_e}{100 - K_{\phi}}. \quad (5.2)$$

Если  $K_{\phi} = 75 \%$ , то  $C_k = 4C_e$ .

Если хотят получить  $K_{\phi} > 20 \dots 30 \%$ , то сырую воду подвергают обработке: осветлению или фильтрации. Для регенерации мембраны осуществляют промывку.

При мембранных методах очистки воды считают, что мембрана – это пористая среда, задерживающая все вещества, размеры которых больше размера пор.

Концентрация фильтрата перед мембраной зависит как от расхода воды  $Q_{\phi}$ , так и от концентрации  $C_m$  жидкости, соприкасающейся с мембраной. В свою очередь  $C_m$  зависит от исходной концентрации  $C_e$

$$C_m = C_e \psi, \quad (5.3)$$

где  $\psi$  – коэффициент концентрационной поляризации мембраны, концентрация соли в жидкости, находящейся в контакте с мембраной,  $\psi = C_m / C_e$ .

Концентрационная поляризация снижает эффективность процесса. В промышленных условиях поддерживают  $\Psi = 1,05 \dots 1,4$ . Коэффициент  $\Psi$  можно уменьшить до минимума посредством эффективной промывки мембраны, сбрасывая большой расход концентрата жидкости.

Очистные установки монтируются из модулей, которые собираются из отдельных мембран (рисунок 5.13).

В зависимости от используемых мембран различают модули:

- трубчатые;
- трубчатые с полыми волокнами;
- пластинчатые;
- спиральные.

Для микрофильтрации и ультрафильтрации применяют в 95 % всех используемых установок модули с полыми волокнами, а при нанофильтрации и обратном осмосе – спиральные модули.

Трубчатые модули собирают из трубчатых мембран (см. рисунок 5.13), которые имеют наружный диаметр от 4 до 25 мм. Их размещают последовательно или параллельно в цилиндрическом корпусе, образуя трубчатый модуль.

Скорость циркуляции жидкости в нем может приниматься до 6,0 м/с. Такие модули не требуют предварительной тонкой очистки воды и применяются для жидкостей с большим содержанием взвеси. Их легко чистить посредством введения шариков из губки. К недостаткам трубчатых модулей относятся: большие размеры, высокая стоимость 1 м<sup>2</sup> площади фильтрации.

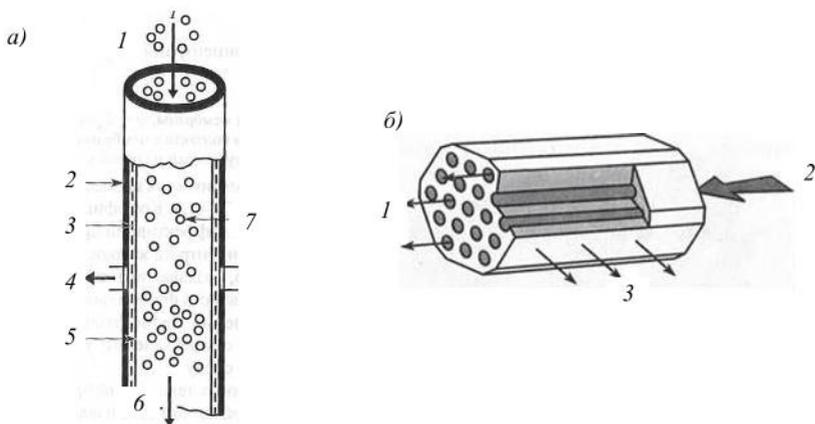


Рисунок 5.13 – Мембрана:

- а* – трубчатая: 1 – подача исходной воды; 2 – труба; 3 – держатель мембраны; 4 – очищенная сточная вода; 5 – мембрана; 6 – выход концентрата; 7 – взвешенные вещества;  
*б* – керамическая: 1 – концентрат; 2 – вода; 3 – пермеат

Модули с полыми волокнами. Диаметр таких волокон от 0,6 до 2 мкм. Изготавливают их путем экструзии мембранного материала сквозь кольцеобразные фильеры.

Они могут выдерживать значительные рабочие внутренние и внешние давления. Их иногда укрепляют с помощью тканевой сетки и часто группируют из нескольких тысяч волокон. Обработываемая жидкость протекает внутри волокон (внутренняя фильтрующая поверхность) либо снаружи (внешняя фильтрующая поверхность).

Такие модули можно регулярно промывать обратным током воды через 0,33–2 часа. Причем давление при промывке значительно ниже предельно допустимого для их раздавливания или разрыва.

Погружные модули ультрафильтрации с внешней фильтрующей поверхностью (рисунок 5.14) устанавливаются прямо в обрабатываемую воду. Фильтрат всасывается сквозь стенки волокон за счет создания вакуума (0,2–0,6 МПа). Они состоят из пластов, укрепленных полых волокон, объединенных в кассеты, включающие от 10 до 60 модулей, с одним источником питания, одним выходом пермеата (фильтрата) и одним воздушным коллектором. Для борьбы с закупориванием (забиванием) мембран предусматривается подача воздуха. Кроме того, все модули осветления (ультрафильтрации и микрофильтрации) необходимо защищать от закупоривания крупными частицами, для чего рекомендуется устанавливать перед ними защитные микросита с отверстиями от 150 до 500 мкм.

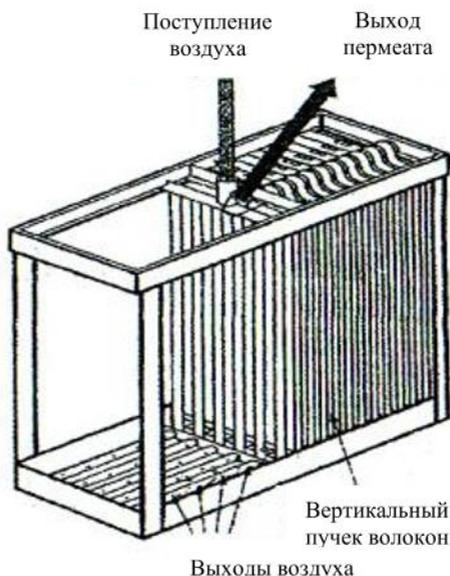


Рисунок 5.14 – Погружные модули ультрафильтрации

Спиральные модули (рисунок 5.15) имеют следующие характеристики: диаметр модуля от 5 до 30 см, длина 0,3–1,5 м, мембранная поверхность от 0,3 до 41 м<sup>2</sup>,  $K_{\phi} = 5 \dots 13 \%$ . Несколько таких модулей (от 2 до 8 шт.) устанавливаются последовательно в едином цилиндрическом корпусе. Такие модули являются самыми компактными и обеспечивают малое падение напора, однако они очень чувствительны к забиванию и нужна хорошая предварительная обработка жидкости. В настоящее время практически все модули обессоливания (ГФ, НФ) изготавливаются именно спиральными.

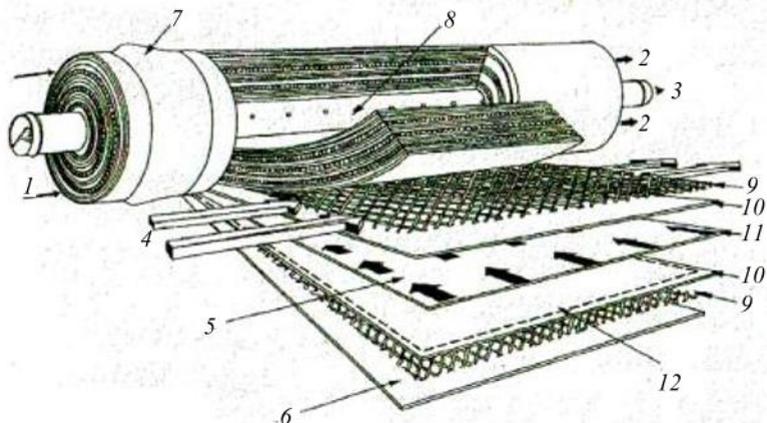


Рисунок 5.15 – Спиральный модуль:

- 1 – поступление воды; 2 – выход концентрата; 3 – трубка-коллектор; 4 – направление движения исходной воды; 5 – направление движения пермеата; 6 – защитный материал; 7 – герметичная прокладка между модулем и корпусом; 8 – отверстия коллектора пермеата; 9 – прокладка;  
 10 – мембрана; 11 – коллектор пермеата;  
 12 – линия спайки двух мембран

Для мембран осветления, используемых при очень низких давлениях (< 0,2 МПа), применяются только параллельные соединения всех модулей и предусматривается контур рециркуляции для реализации в необходимых случаях тангенциального режима фильтрования.

Применение мембран осветления. Мембраны осветления постепенно заменяют традиционные сооружения при подготовке питьевой и технической воды без применения реагентов из природной или оборотной воды предприятий, а также в предварительной обработке воды для систем обессоливания.

Мембранные технологии применяют:

- для получения ультрачистой воды и обессоливания;
- обработки промышленных стоков;
- улучшения качества воды, обработанной на традиционных установках;
- обеззараживания воды.

## 6 ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

### 6.1 Основные способы физико-химической очистки производственных сточных вод

К физико-химическим методам очистки сточных вод относятся коагуляция, флокуляция, сорбция, флотация, коалесценция, экстракция, эвапорация, ионный обмен, кристаллизация, электродиализ, дезактивация и дезодорация.

**Коагуляция** – процесс нарушения агрегативной устойчивости дисперсной системы путем ввода в нее вещества, в результате химической реакции с которым образуются пористые рыхлые хлопья, способные поглощать частицы загрязнений сточных вод.

**Сорбция** – выделение из сточной воды растворенных в ней органических веществ и газов путем концентрации их на поверхности твердого тела (адсорбция) либо путем поглощения вещества из раствора или смеси газов пористыми твердыми телами (абсорбция), а также путем химического взаимодействия растворенных веществ с твердым телом (хемосорбция).

**Экстракция** – выделение растворенных органических примесей, находящихся в сточных водах, путем обработки последних каким-либо не смешивающимся с водой растворителем – экстрагентом, в котором примеси, загрязняющие воду, растворяются лучше, чем в воде (например, количество растворенного фенола в бутилацетате в 12 раз больше, чем в воде).

**Эвапорация** – отгонка с водяным паром загрязняющих сточную воду растворенных веществ (например, летучего фенола из сточных вод коксохимических заводов).

**Флотация** – процесс насыщения сточной воды пузырьками мелкодиспергированного воздуха, в результате которого нерастворенные вещества (эмульгированная нефть, целлюлозно-бумажное волокно, шерсть и др., имеющие плотность меньшую плотности воды) прилипают к поверхности пузырьков и всплывают вместе с ними на поверхность воды, а затем удаляются из сооружения.

**Ионный обмен** – извлечение из водных растворов катионов и анионов при помощи ионитов – твердых природных или искусственных материалов, практически нерастворимых в воде и в органических растворителях, или искусственных смол.

Иониты имеют на своей поверхности свободный ион, который замещается ионом загрязняющего вещества из сточной воды. Ионообменная очистка

позволяет в ряде случаев утилизировать ценные компоненты сточных вод и обеспечить высокую степень их деминерализации.

**Коалесценция** – слияние частиц (например, капель или пузырей) внутри подвижной среды (жидкости, газа) или на поверхности тела.

**Кристаллизация** – очистка загрязненных сточных вод путем выделения загрязнений в виде кристаллов.

**Деактивация** производственных сточных вод, содержащих радиоактивные вещества, производится путем их выдерживания перед спуском в водный объект (при загрязнении короткоживущими изотопами) или путем удаления из сточных вод взвешенных и растворенных радиоактивных веществ с долгоживущими изотопами.

**Дезодорация** – устранение запахов путем аэрирования, хлорирования и озонирования.

**Электродиализ** – процесс переноса ионов через мембрану под действием электрического поля.

## 6.2 Реагентная обработка воды

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 ее способность сохранять постоянный размер частиц и рав-

номерное 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, сгущение, укрупнение*) 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  $U_0 = 0,5 \dots 1$  мм/с, что позволяет эффективно извлекать их из воды методами отстаивания и фильтрации.

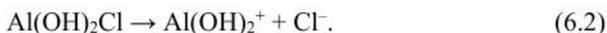
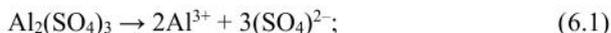
В качестве коагулянтов обычно используют соли железа и алюминия: сульфат алюминия  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ , сульфат железа  $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 7H_2O$  или хлорид железа  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ . Кроме них можно использовать известь CaO, алюминат натрия  $NaAlO_2$ , гидроксохлорид алюминия  $Al_2(OH)_nCl_{6-n}$ , 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. Состав коагулянтов на основе солей алюминия представлен в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Состав коагулянтов на основе солей алюминия

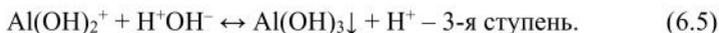
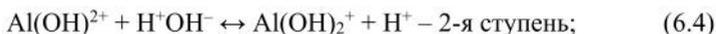
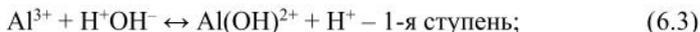
Коагулянт	Формула	Содержание $Al_2O_3$ , %	Товарная форма
Сульфат алюминия технический	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	7,2; 10 17 9; 15; 16	Жидкий Гранулированный Кусковой
Гидроксохлорид алюминия	$Al_2(OH)_nCl_{(6-n)}$	10; 15; 18; 20 30, 42	Жидкий Порошковый
Гидросульфат алюминия	$Al_2(OH)_{2-n}(SO_4)_{3-n}$	10	Жидкий
Гидроксохлорсульфат алюминия	$Al_2(SO_4)_2(OH)Cl \cdot 16H_2O$	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 составляет 15–20 °С, при понижении температуры до 5–10 °С 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 и его производные, производные целлюлозы, хитозан, желатин, альгинаты и гумаровые смолы 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/дм<sup>3</sup>. 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. Смешение воды с реагентами при помощи механических мешалок должно осуществляться со скоростью вращения, не превышающей 1750 мин<sup>-1</sup>. 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 нормативным документам, время пребывания в камерах хлопьеобразования при последующем отделении скоагулированных веществ отстаиванием следует принимать до 15 минут.

При использовании 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.

При большой исходной концентрации загрязнений наиболее экономичной схемой очистки является **двухступенчатая** (рисунок 6.1):

- на 1-й ступени – отстаивание без коагулянта;
- 2-й ступени – отстаивание с предварительной обработкой.



Рисунок 6.1 – Схема двухступенчатой очистки сточных вод:

0-I, 0-II – отстойники I и II ступени; СМ – смеситель;

КР – камера реакции(хлопьеобразования)

Часто процесс очистки (смешение, контакт (коагуляция) и отстаивание) осуществляется в одном аппарате. Если концентрация загрязнений не превышает  $2,5 \text{ г/дм}^3$ , вместо отстойников могут применяться осветлители со слоем взвешенного осадка прямоугольной и круглой формы в плане. Принцип работы основан на пропускании восходящего потока сточной воды через слой ранее выделившегося шлама, причем скорость потока регулируется таким образом, чтобы частицы шлама не уносились из зоны выделившегося осадка.

Из минеральных нерастворимых примесей коагулянтами и флокулянтами удаляются алюмосиликаты (бентонитовые и каолиновые глины, гранит, слюда, полевые шпаты и т. д.), оксиды, карбонаты, силикаты щелочных, щелочноземельных и тяжелых металлов.

К органическим нерастворимым примесям, извлекаемым коагулянтами и флокулянтами, относятся жиры, масла, нефтепродукты, волокна целлюлозы, полимерные синтетические смолы, лакокрасочные материалы, угольные частицы и т. д.

Сульфаты и хлориды алюминия и железа удаляют растворенные вещества: фосфаты, фториды, сульфиды (неорганические соли), анионные ПАВ, красители, лигнин и его производные.

Реагентная обработка в настоящее время является основным способом удаления из сточных вод соединений фосфора. При введении традиционных минеральных коагулянтов: солей двух и трехвалентного железа, солей алюминия или извести, которые могут применяться самостоятельно или в сочетании с флокулянтами, растворенные соли ортофосфорной кислоты образуют нерастворимые соединения, которые выпадают в осадок.

### 6.3 Флотационная очистка

Флотация получила распространение для очистки производственных сточных вод от жиров, масел, смол, нефтепродуктов, синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ), асбеста, шерсти, различных волокон и других примесей, плотность которых меньше плотности воды или близка к ней. Параллельно, за счет аэрации снижается величина БПК, ХПК, концентрация железа, марганца. Лучше флотируются те вещества, которые меньше смачиваются водой.

Сущность флотационной очистки состоит в том, что сточные воды искусственно насыщаются воздухом, к поверхности пузырьков которого прилипают частицы загрязнений и всплывают вместе с ними на поверхность воды, откуда удаляются. Длительность процесса флотации составляет около 20 мин.

Флотация эффективна после предварительного отстаивания и удаления плавающих и взвешенных веществ. Процесс осуществляется в специальных сооружениях, называемых флотаторами.

В зависимости от способа диспергирования воздуха флотацию разделяют:

- на вакуумную;
- напорную;
- механическую (импеллерную);
- биологическую;
- электрофлотацию.

Чаще применяют механическую (импеллерную) и напорную флотацию.

**Напорная флотация.** Суть метода напорной флотации заключается в том, что насыщение воды воздухом происходит под давлением в напорном баке, вследствие чего воздух растворяется в воде. Затем при подаче насыщенной воды в открытый флотатор, где давление снижено до атмосферного, воздух выделяется в виде пузырьков диаметром 100–200 мкм, вследствие чего всплывают они медленно, не нарушая ламинарного состояния жидкости.

Многокамерная флотационная установка (рисунок 6.2) производительностью от 5 до 50 м<sup>3</sup>/ч включает многокамерный флотатор, работающий с коагуляцией и рециркуляцией воды, резервуар-усреднитель, реагентное хозяйство, устройство для насыщения воды воздухом, перекачивающие насосы и др. элементы.

Многокамерная флотационная установка (многокамерный флотатор) представляет собой открытый прямоугольный в плане резервуар, разделенный поперечными направляющими перегородками на четыре последовательно расположенные камеры, в каждой из которых вода находится от 4 до 6 минут. Вода во флотационную установку подается из резервуара-усреднителя, емкость которого принимается равной объему притока производственных сточных вод за время  $t$  от 5–10 до 20–30 мин.

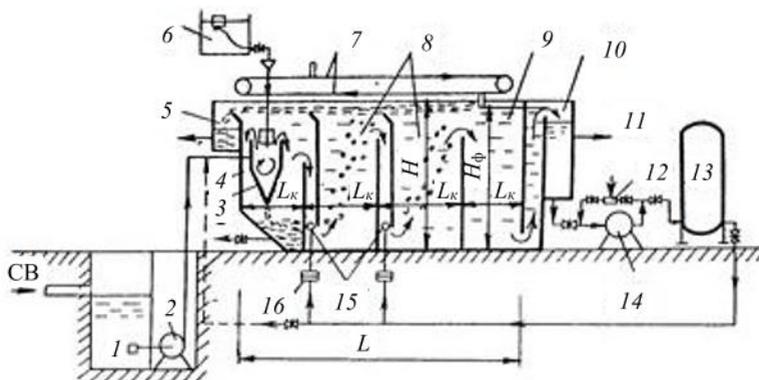


Рисунок 6.2 – Схема многокамерной флотационной установки:

1 – приемный резервуар; 2 – насос; 3 – безнапорный гидроциклон (смеситель); 4 – камера грубой очистки; 5 – нефтесборный карман; 6 – бак с коагулянт; 7 – скребки; 8 – камеры флотации; 9 – отстойная камера; 10 – карман для сбора очищенной воды; 11 – подача воды в оборотную систему, на доочистку или сброс в канализацию; 12 – эжектор для насыщения рециркуляционной воды воздухом; 13 – напорный бак; 14 – рециркуляционный насос;

15 – перфорированные трубы для подачи рециркуляционной воды;

16 – диафрагма для снижения напора

Первая камера – грубой очистки сточных вод, две последующие камеры – флотации, четвертая – камера отстаивания. Сточная вода подается в смеситель, расположенный в камере грубой очистки флотатора. Сюда же из дозатора поступает раствор коагулянта и часть циркулирующей воды, насыщенной воздухом. Вихревой смеситель, работающий по принципу открытого гидроциклона, обеспечивает хорошее перемешивание и благоприятствует образованию хлопьев и их укрупнению. Хлопья коагулянта с адсорбированными на их поверхности частицами загрязнений подхватываются пузырьками воздуха, выделяющимися из циркулирующей воды, и быстро поднимаются на поверхность. Реагентная обработка воды может и отсутствовать.

Очищенная от грубодисперсных примесей вода поступает во вторую, а затем в третью камеры флотации. Перед каждой камерой флотации к очищаемой воде через дырчатые распределительные трубы добавляется около 15–20 % циркулирующей воды, насыщенной воздухом. Диафрагма, установленная перед дырчатыми распределительными трубами, обеспечивает необходимый перепад давления для выделения растворенного воздуха. Таким образом, в многокамерном флотаторе процесс флотации повторяется дважды, что повышает эффект очистки воды. Пройдя очистку в камерах флотации, сточная вода перетекает в отстойную камеру, где окончательно освобождается от мелких пузырьков воздуха с адсорбированными на них загрязнениями. Из отстойной камеры вода отводится через щель под пеноудерживающей полупогруженной перегородкой и сливается в сборный карман. Часть очищенной

воды (30–50 %) забирается насосом и подается в напорный бак, в процессе насыщаясь воздухом из атмосферы с помощью эжектора. В напорном баке поддерживается давление 0,2–0,5 МПа, вследствие чего воздух растворяется в воде. Из напорного бака вода, насыщенная воздухом, поступает на рециркуляцию во флотатор. Загрязнения, всплывающие на поверхность воды во флотаторе в виде пены, сгребаются скребковым механизмом в сборный карман, откуда удаляются на обезвоживание. Подогрев пены в кармане с целью облегчения ее удаления производится с помощью пара, циркулирующего по змеевику.

Подключение эжектора может быть выполнено по одной из схем (рисунок 6.3).

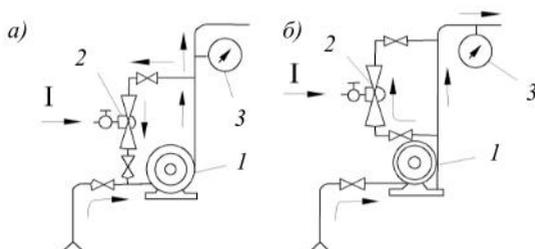


Рисунок 6.3 – Схемы введения воздуха при напорной флотации:

- а* – с эжектором на перемычке, соединяющей напорный трубопровод и всасывающий;  
*б* – с эжектором на напорном трубопроводе; *1* – насос; *2* – эжектор; *3* – манометр; *I* – воздух

Воздушный эжектор действует по принципу водоструйного насоса, т. е. за счет напора воды, создаваемого насосом (рисунок 6.4).

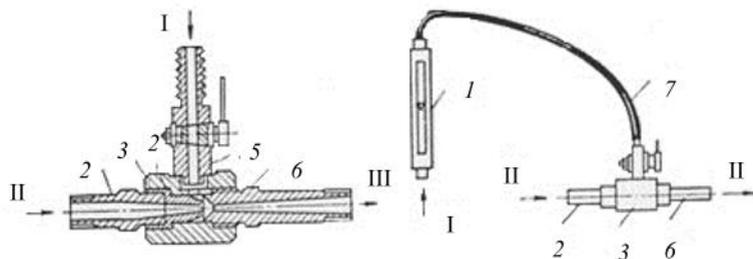


Рисунок 6.4 – Воздушный эжектор:

- 1* – ротаметр; *2* – входной штуцер; *3* – корпус; *4* – сопло; *5* – всасывающий патрубков;  
*6* – выходной штуцер; *7* – резиновый шланг; *I* – воздух; *II* – вода; *III* – водовоздушная смесь

Напорный бак представляет собой закрытый цилиндрический сосуд, внутри которого размещена кольцевая перегородка с отверстиями и труба с соплом для ввода воды. На верхнем днище установлен манометр и кран для удаления не растворившегося воздуха, а на нижнем – кран для опорожнения бака.

Различные схемы сатураторов представлены на рисунке 6.5. Для ускорения процесса растворения воздуха в них предусматриваются меры по перемешиванию воды, что способствует массообмену. На практике очистки сточных вод чаще всего применяют барботажный сатуратор с внутренней перегородкой (*а*) и барботажный сатуратор с центральной трубой (*б*), так как они наиболее просты в обслуживании.

В таблице 6.2 [38] представлены схемы введения воздуха и их краткие характеристики. На практике чаще всего применимы: ввод сжатого воздуха в напорную линию перед сатуратором и непосредственный его ввод в сатуратор. При небольших производительностях (в пределах менее 100–200 м<sup>3</sup>/ч) широко применяются схемы с засасыванием атмосферного воздуха эжектором, установленным на байпасе, т. е. линии, соединяющей напорный и всасывающий трубопроводы насоса. Эжектор начинает работать, когда по байпасу возникает движение воды в контуре напорная линия – байпас – всасывающая линия – насос. Объем засасываемого воздуха по условиям надежной работы насоса не должен превышать 3–5 % от объема перекачиваемой воды. Главное достоинство рассматриваемой схемы в ее компактности: установка монтируется непосредственно возле флотатора.

На рисунке 6.6 приведены принципиальные схемы установок напорной флотации, включающие узел насыщения воды воздухом, систему ввода аэрированной воды и флотационную камеру. Схемы *а* и *б* относятся к прямоточным. Поступающая на очистку сточная вода насыщается воздухом в сатураторе (воздухорастворителе) и направляется в отделение образования аэрофлокул, а из него – в отделение отстаивания камеры флотации. Особенность схемы *б* заключается в том, что в сатуратор подается часть воды. Аэрируемая вода смешивается с неаэрируемой в отделении флокуляции. Схема позволяет сократить затраты электроэнергии на работу насоса. Главным недостатком рассматриваемых схем следует считать опасность засорения сатураторов, которые заполняются неочищенной водой.

Этот недостаток частично устранен в схеме *в*, в которой предусмотрена рециркуляция части воды в контуре «выход очищенной воды из отделения отстаивания – возврат в отделение аэрофлокул». За счет увеличения общего расхода воды, проходящей через камеру флотации, вместимость последней несколько увеличивается. Схема не позволяет полностью исключить засорение сатуратора, но уменьшает эту опасность. Такая схема наиболее применима при очистке нефтесодержащих сточных вод.

В прямоточной схеме *г* раствор воздуха готовится с использованием очищенной технической воды и практически снимает проблему засорения сатуратора. Вместе с тем появляется необходимость водоснабжения установки, а расход очищенной во флотаторе воды искусственно увеличивается.

Флотатор монтируется на общей раме и устанавливается в закрытом отапливаемом помещении с вытяжной вентиляцией.

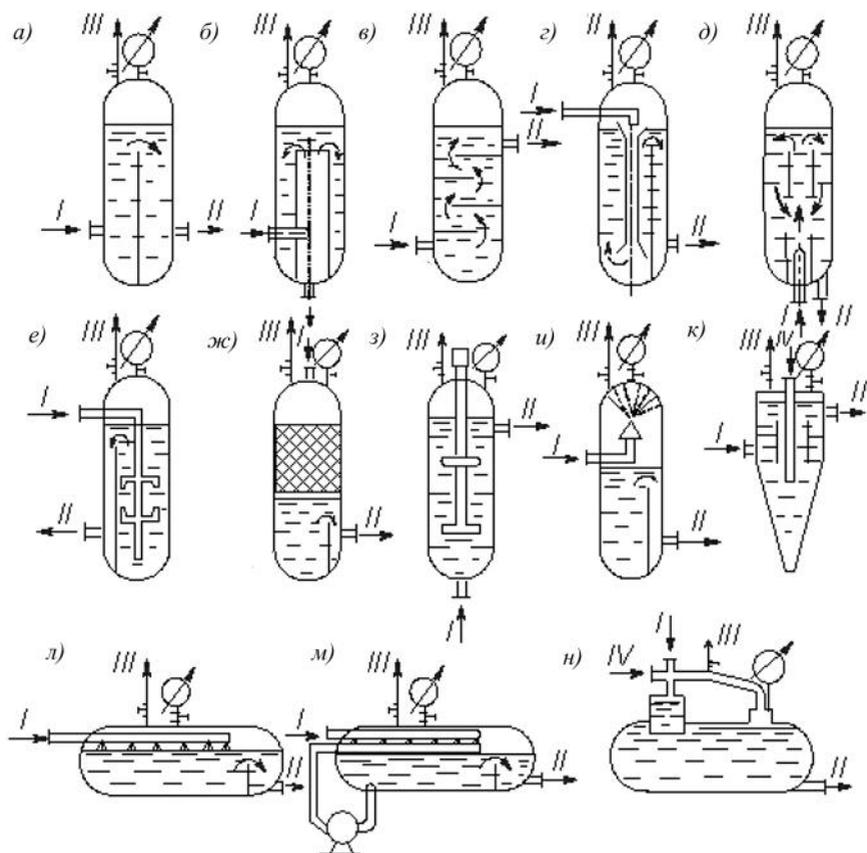
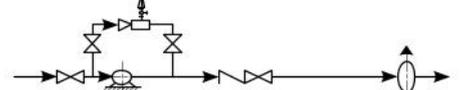
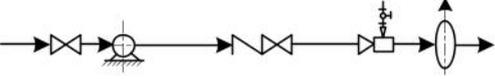
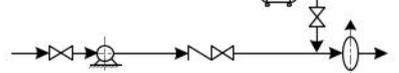


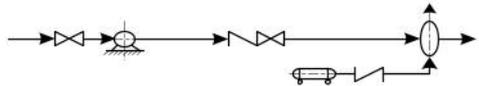
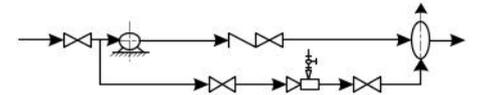
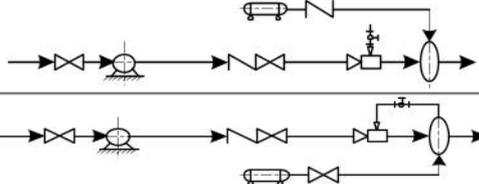
Рисунок 6.5 – Конструкции сатураторов:

*a* – барботажный с внутренней перегородкой; *б* – барботажный с центральной трубой; *в* – барботажный с горизонтальными полками; *г* – барботажный с принудительным перемешиванием элеватором; *д* – барботажный с принудительным перемешиванием эрлифтом; *е* – барботажный с перемешиванием по способу встречных струй; *ж* – барботажный с внутренней насадкой; *з* – барботажный с механическим перемешиванием; *и* – распылительный; *к* – барботажный вихревой; *л* – струйный; *м* – струйный с принудительным перемешиванием насосом; *н* – барботажный с циркуляцией нерастворенного газа; I – подача воды в сатуратор; II – выпуск воды с растворенным газом; III – выпуск нерастворенного газа; IV – подача газа в сатуратор

Расчет многокамерной флотационной установки заключается в определении параметров основных ее элементов (объема каждой камеры, рабочей глубины, ширины, длины).

Таблица 6.2 – Схемы введения воздуха и их краткие характеристики

Место ввода	Схематическое изображение	Достоинства схемы	Недостатки схемы
Во всасывающую линию		Простота, диспергирование воздуха насосом	Ограничение объема вводимого воздуха; зависимость от высоты всасывания
Между напорной и всасывающей линиями насоса		Диспергирование воздуха насосом. Увеличение объема вводимого воздуха	Нестабильная работа схемы. Снижение производительности насоса
В напорную линию		Диспергирование воздуха в эжекторе. Улучшение условий работы насоса	Увеличение энергозатрат. Возможность засорения эжектора
В напорную линию		Отсутствие засоряющихся элементов	Необходимость в источнике сжатого воздуха

<p>В сатуратор</p>		<p>Независимость объема вводимого воздуха от высоты всасывания насоса</p>	<p>Медленное растворение воздуха из-за отсутствия диспергирования воздуха</p>
<p>Между напорной линией сатуратора и всасывающей линией насоса</p>		<p>Повышение устойчивости работы системы газонасыщения</p>	<p>Увеличение объема сатуратора</p>
<p>В напорную линию и сатуратор</p>		<p>Высокая надежность схемы введения воздуха</p>	<p>То же, что и в схеме 3 «в напорную линию»</p>

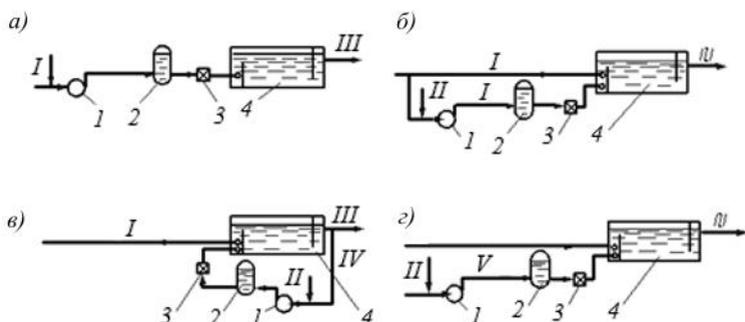


Рисунок 6.6 – Технологические схемы напорной флотации:

*a* – прямооточная с насыщением воздухом всего потока очищаемой воды; *б* – прямооточная с насыщением воздухом части потока очищаемой воды; *в* – циркуляционная с насыщением воздухом части потока очищенной воды; *г* – прямооточная с насыщением воздухом рабочей жидкости; I – очищаемая вода; II – воздух; III – очищенная вода; IV – рециркулирующий поток очищенной воды; V – рабочая жидкость; 1 – центробежный насос; 2 – сатуратор; 3 – редукционный клапан; 4 – флотационный аппарат

Высоту переливных поперечных перегородок между камерами флотатора принимают на 100–200 мм меньше высоты  $H$ , а расстояние между ними из условия размещения дырчатых распределительных труб – 100–150 мм. Скорость движения воды в трубах 0,8–1 м/с, а в отверстиях скорость 0,5–0,6 м/с. Шаг отверстий – 100–200 мм. Распределительные трубы располагают на высоте около 100 мм над дном флотатора.

Смеситель, расположенный в камере грубой очистки, рассчитывается на пребывание воды в нем в течение 15–20 с. Высота смесителя  $H_{см} \approx 0,6H$ , его низ располагается на 100–200 мм выше дна флотатора.

Производительность рециркуляционного насоса принимается  $0,5Q$  при подаче воды во флотатор насосом и  $Q$  при подаче воды во флотатор гидрозаворотом. Напор насоса должен быть менее 0,35–0,4 МПа.

**Флотаторы-отстойники** представляют собой комбинированные сооружения, состоящие из круглого в плане радиального отстойника с встроенной в него круглой в плане подвесной флотационной камерой (рисунок 6.7). Они применяются для совместной очистки поверхностных и производственных вод предприятий, которые загрязнены одновременно всплывающими и оседающими примесями.

Принцип работы сооружения состоит в следующем. Сточная вода поступает в водораспределитель. Сюда же подается рециркуляционная вода, предварительно насыщенная в напорном баке воздухом. При выходе из распределителя смесь очищаемой и рециркуляционной воды попадает во флотационную камеру, где вода находится около 20 мин и из нее удаляются всплывающие загрязнения.

Из камеры флотации вода перетекает в отстойную камеру, где тяжелые взвешенные вещества, содержащиеся в воде, оседают на дно отстойника.

Очищенная вода сливается через зубчатый водослив в радиально расположенные сборные лотки, откуда поступает в кольцевой сборный лоток, размещенный вокруг камеры флотации, и отводится из него. Для сгребания пены и осадка предусмотрены верхние и нижние донные скребки с приводом. Время пребывания воды в камере флотации 10–20 мин; время пребывания воды в отстойной камере 1,5–2 ч. Рабочая высота флотатора-отстойника принимается в пределах от 1,5 до 3 м. Высота флотационной камеры принимается равной 1–1,2 м.

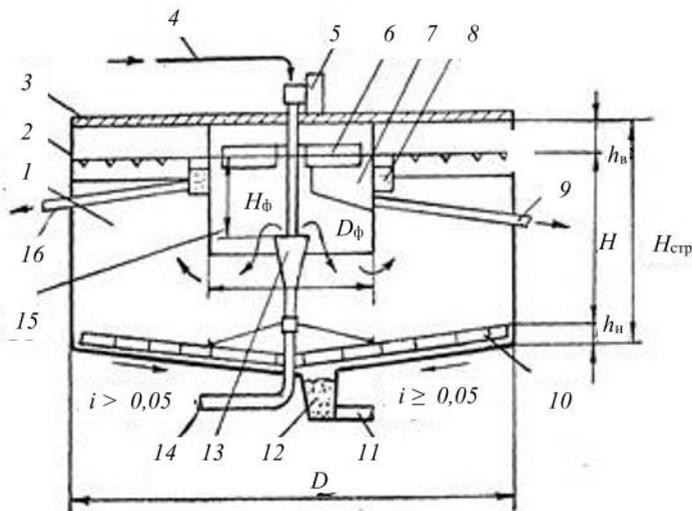


Рисунок 6.7 – Флотатор-отстойник:

1 – отстойная камера; 2 – водосборный лоток с зубчатым водосливом; 3 – мостик для обслуживания; 4 – трубопровод рециркуляционной воды; 5 – электропривод; 6 – верхние скребки для сбора всплывших загрязнений (пены); 7 – сборный карман для всплывших загрязнений (пены); 8 – кольцевой водосборный лоток; 9 – трубопровод для удаления всплывших загрязнений; 10 – донные скребки; 11 – трубопровод для удаления осадка; 12 – приемок для осадка; 13 – водораспределитель; 14 – трубопровод для подачи воды на очистку; 15 – камера флотации; 16 – трубопровод очищенной воды

**Радиальные флотаторы** используются для очистки больших объемов производственных сточных вод (более  $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) (рисунок 6.8). По конструкции они аналогичны флотаторам-отстойникам, но флотационная камера расположена в нижней их части и не имеет донных скребков.

Общее время пребывания воды во флотационной камере и отстойной зоне составляет 20 мин.

На практике применяются радиальные флотаторы и флотаторы-отстойники глубиной до 3 м и диаметром до 15 м.

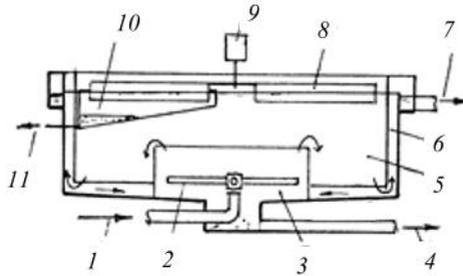


Рисунок 6.8 – Радиальный флотатор:

- 1 – подача сточной воды; 2 – вращающийся водораспределитель; 3 – флотационная камера;  
 4 – отвод осадка; 5 – отстойная камера; 6 – кольцевая перегородка; 7 – отвод очищенной воды;  
 8 – пеносорбные скребки; 9 – электропривод скребков; 10 – пеносорбный лоток;  
 11 – отвод пены

Марки и характеристики напорных флотаторов представлены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Основные параметры флотаторов-отстойников

Расчетный расход на один флотатор-отстойник $Q_{\text{ф}}$ , м <sup>3</sup> /ч	Флотационная камера, м		Общие габариты, м	
	диаметр $D_{\text{к}}$	высота $H_{\text{к}}$	диаметр $D_{\text{ф}}$	высота $H_{\text{ф}}$
150	3,0	1,5	6	3,0
300	4,5		9	
600	6,0		12	
900	7,5		15	

**Механическая (импеллерная) флотация.** Кроме напорной флотации, для извлечения нефтепродуктов, смолы, масла, жира, мелких механических примесей при высокой их концентрации (2–3 г/дм<sup>3</sup>) применяют механическую (импеллерную) флотацию (пенную сепарацию), при которой насыщение воды пузырьками воздуха осуществляется механическим путем с помощью турбины (рисунок 6.9). Количество вводимого таким путем воздуха составляет 10–40 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> площади сепаратора, что ускоряет процесс извлечения загрязнений. Однако эффективность их ниже, чем напорных флотаторов. Разработана конструкция самовсасывающего сепаратора с высотой всасывания до 5 м.

За счет вакуума, возникающего при вращении турбины у ее оси, вода, а также воздух поступают во флотационную камеру сепаратора, где воздух частично растворяется в воде за счет повышенного давления на периферии импеллера и перемешивается со сточной водой. Через отверстия в статоре турбины сточная вода с диспергированным в ней воздухом выбрасывается в

камеру флотации, где происходит отделение образовавшихся пузырьков воздуха с прилипшими к ним загрязнениями. Флотопродукт (пена) удаляется с поверхности флотатора (сепаратора) специальными пеносъемниками.

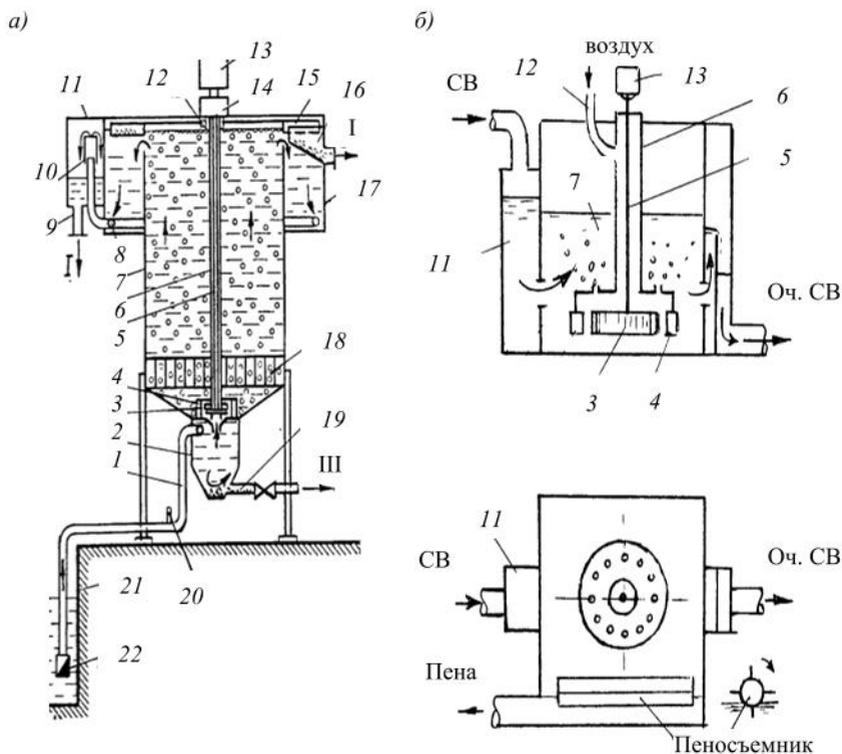


Рисунок 6.9 – Самовсасывающий пенный сепаратор (а), импеллерный флотатор (б):  
 1 – всасывающая труба; 2 – грязевой приямок; 3 – лопастное колесо; 4 – статор; 5 – вал;  
 6 – воздушная труба; 7 – флотационная камера; 8 – водосборный кольцевой трубопровод;  
 9 – отводящий патрубок; 10 – регулятор уровня; 11 – приемный карман; 12 – воздушный патрубок;  
 13 – электропривод; 14 – редуктор; 15 – скребки; 16 – пеносборный желоб;  
 17 – отстойная камера; 18 – успокоительная решетка; 19 – выпускной патрубок для осадка;  
 20 – патрубок для ввода реагентов; 21 – приемный колодец; 22 – всасывающий клапан

Флотационные аппараты рассчитываются с учетом степени диспергирования воздуха, зависящей от окружной скорости импеллера (12–15 м/с). Флотационная камера квадратная со стороной  $B_k = 6D_{и}$ , где  $D_{и}$  – диаметр импеллера ( $D_{и} \leq 750$  мм). Высота камеры  $H_{ф}$  обычно 1,5–3 м, продолжительность флотации  $t = 20 \dots 30$  мин (0,33–0,5 ч), удельный расход воздуха до 40–50 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> площади камеры.

## 6.4 Сорбционная очистка

**Сорбция** – это равновесный динамический процесс поглощения вещества из окружающей среды твердым телом, жидкостью или газом. Осуществляется за счет диффузии молекул органических веществ через жидкостную пленку, окружающую частицы адсорбента, к его поверхности при перемешивании жидкости и далее внутренней диффузии молекул, скорость которой определяется строением адсорбента и размером молекул сорбируемого вещества.

Сорбцию экономически целесообразно применять при низких концентрациях загрязнений, т. е. на стадии глубокой очистки. В этом случае в процессе сорбции можно получить близкие к нулевым остаточные концентрации загрязнений.

Сорбционная очистка рекомендуется для сточных вод, загрязненных ароматическими соединениями, слабыми электролитами или неэлектролитами, красителями, непредельными соединениями, гидрофобными алифатическими соединениями. С помощью сорбции можно извлекать из воды биологически стойкие органические вещества. Данный метод позволяет извлечь из сточных вод ценные компоненты с их дальнейшей утилизацией, а очищенную воду использовать в системах оборотного водоснабжения предприятий. Основным извлекаемым сорбентами веществом является коллоидная и растворенная нефть.

Хорошо известны основные закономерности адсорбционных процессов, в частности:

- чем хуже адсорбируется среда, тем лучше будет происходить сорбция растворенного вещества;

- чем лучше среда растворяет адсорбтив, тем хуже протекает адсорбция;
- неполярные вещества лучше адсорбируются на неполярных адсорбентах.

На скорость и эффективность адсорбции влияет структура сорбента, химическая природа и концентрация загрязнений, температура, активная реакция среды. При повышении температуры степень адсорбции снижается, несмотря на увеличение скорости диффузии; снижение величины рН вызывает увеличение сорбции органических веществ сточных вод.

В настоящее время в мире производится и используется несколько сотен различных сорбентов, которые подразделяют:

- на неорганические (силикагели, алюмогели, активный оксид алюминия, перлит, вермикулит, различные сорта глин);

- природные (органические и органоминеральные) (солома, кора, торф, древесная стружка, высушенные зернопродукты, целлюлоза, микрогранулированная целлюлоза, волокнистая целлюлоза, гели на основе декстрана (сефадексы), агароза, кизельгур (цеолит, диатомовая земля)) и синтетические (полиуретан, полипропилен, полистирол, полиакриламидный гель, сефакрилы, ультрагели, полистирольные смолы, полиамидные смолы, силикагель, оксид алюминия, пористое стекло, оксиапатит) материалы;

– углеродные и не углеродные. Для производства *углеродных* сорбентов для очистки воды используются: древесина, уголь, антрацит; торф; полимеры; промышленные отходы; стружка;

– порошкообразные (или гранулированные) и волокнистые.

Выбор материала определяется, главным образом, его сорбционной емкостью, степенью гидрофобности, временем защитного действия фильтра, возможностью регенерации.

**Минеральные** сорбенты и гидроксиды металлов для адсорбции используют мало, так как энергия взаимодействия их с молекулами воды велика – иногда превышает энергию адсорбции, либо их применяют целенаправленно для удаления каких-то конкретных загрязняющих веществ. Так, например, сорбент Alumac 320 на основе активированного (активного) оксида алюминия (алюмогеля) эффективно удаляет из воды фторсодержащие примеси и мышьяк.

Осуществлять удаление из воды соединений фосфора можно при использовании в качестве сорбентов природных минералов, содержащих Са и Mg, эффективность доходит до 100 %. Однако этот метод разработан слабо, требуется его изучение и определение технологических параметров процесса.

В качестве нерегенерируемых сменных загрузок для очистки поверхностных и производственных сточных вод применяются кокс, опилки, стружка, торф и другие **органические** материалы, которые после использования сжигают.

В процессе производства сырье, из которого изготавливают сорбент, подвергают карбонизации и активации паром при температуре около 1000 °С, после чего сорбент приобретает отличные адсорбционные свойства и необходимый размер пор.

Марки и характеристики сорбентов представлены в таблице 6.4.

В Республике Беларусь существует ряд предприятий, осуществляющих производство полимерных материалов, в частности, Институт физико-органической химии (г. Минск), СПО «Химволокно» (г. Светлогорск), «Гранстехника» (г. Минск), НИИ физико-химических проблем БГУ (г. Минск), СКТБ «Металлополимер» (г. Гомель) и т. д. В основном фильтрующие материалы для удаления нефтепродуктов изготавливают из полипропиленовых волокон, формуемых в нетканые рулонные материалы разной толщины. Кроме того, используют полиуретан в губчатом или гранулированном виде, формованный полиэтилен с полимерными наполнителями и другие виды пластика.

Синтетические материалы подвергаются регенерации путем отжима, промывки обратным током горячей воды.

Также углеродные сорбенты на основе активных углей подразделяют по способу производства (таблица 6.5, рисунок 6.10):

- дробленые углеродные сорбенты для очистки воды – БАУ, КАД, ДАК и др.;
- гранулированные – АГ-3, АГ-5, СКТ и др.;
- порошковые – ОУ-А, ОУ-Б, КАД-молотый и др.

Таблица 6.4 – Свойства активных углей

Марка активного угля	Влажность, %	Размер гранул, мм	Сорбционная емкость по йоду, мг/г
ОУ-А	10	< 0,1	100
ОУ-Б	58	< 0,1	100
КАД молотый	10	1,5–2	80

Таблица 6.5 – Свойства активных углей

Марка активного угля	АР-3	АГН	АГ-5	АГ-3	КАД	ОУ
Сорбционная емкость, мг/г	7,7	7,5	6,6	8,0	14,2	26

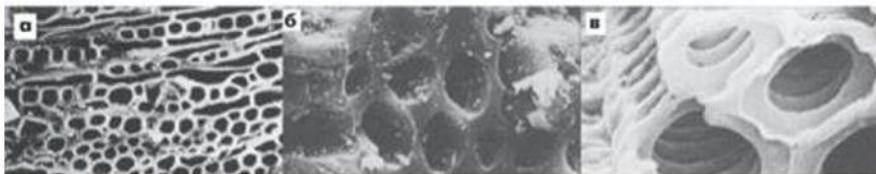


Рисунок 6.10 – Структура активированных материалов:  
 а – карбонизированная древесина; б – активированный каменный уголь;  
 в – активированная скорлупа кокоса

### Применение углеродных сорбентов.

В системах водоподготовки и водоочистки наиболее активно применяются сорбенты для очистки воды **гранулированной** и **порошковой** структуры. Необходимо понимать разницу между ними: **гранулированные** сорбенты для очистки воды обладают большей механической прочностью и износостойкостью, оказывают меньшее гидравлическое сопротивление. **Порошковые** сорбенты для очистки воды обладают большей площадью адсорбции, но в то же время оказывают большее гидравлическое сопротивление и быстрее разрушаются в ходе механического трения друг о друга, о стенки фильтрующих колонн с фильтрами (например, фильтры АГ) и пр.

В России и США (США – производитель более чем 100 ведущих марок сорбентов для очистки воды) приняты разные системы оценки размеров частиц сорбентов – в миллиметрах и мешах (25,4 мм) соответственно.

Одним из основных свойств угольных сорбентов является размер пор, которые подразделяются:

- на супермикропоры ( $r_{эфф} < 0,6...0,7$  нм);
- микропоры ( $0,6...0,7$  нм  $< r_{эфф} < 1,5...1,6$  нм);
- мезопоры ( $1,5...1,6 < r_{эфф} < 100...200$  нм);
- макропоры ( $r_{эфф} > 100...200$  нм).

От размера пор также зависит общая площадь пор, которая в итоге и влияет на эффективность сорбента. Наиболее качественные сорбенты, способные адсорбировать значительные количества органических веществ, растворенных в воде, обладают эффективной адсорбционной площадью от 1500 до 2200 м<sup>2</sup> на 1 г сорбента.

Из углеродных сорбентов можно также назвать каменноугольный кокс, пек, нефтяной кокс и пр. Их преимущество – малая зольность, сравнимая с параметрами шунгита, хотя их сорбционная емкость меньше, чем у сорбентов на основе активированных углей.

Отдельно существует обширный класс **неуглеродных сорбентов**:

– диатомит, получаемый из отложений на основе диатомовых водорослей;  
– трепел – рыхлая или слабо сцементированная, тонкопористая опаловая осадочная порода. Отличается от диатомита малым содержанием органических остатков; состоит из мелких сферических опаловых телец (глобул) размером 0,01–0,001 мм, с примесью глинистых минералов, глауконита, кварца, полевых шпатов. Отличный адсорбент;

– опока (мергель, серо-белая глина; от «пеку, печь, пещера») – тонкозернистая, размер частиц – 0,01–0,001 мм. Сравнительно твердая, но легкая пористая порода. Плотность – 1,0–1,3 г/см<sup>3</sup>. Отличный адсорбент;

– керамзит – строительный материал пористой структуры, получаемый в результате обжига глины;

– монтмориллонит. Минерал глинистой природы, обладает достаточно высокой площадью поверхности пор на грамм минерала – примерно 800 квадратных метров, в своем классе – лучший сорбент для очистки воды от органических соединений.

**Волокнистые** сорбенты обладают большей кинетикой сорбции за счет более высокой удельной поверхности и большей доступности функциональных групп. Также волокнистые сорбенты обладают лучшей регенеративной способностью – возможностью повторного применения, что особенно актуально для промышленных областей применения.

Лучшими сорбентами для удаления из воды растворенных органических веществ являются **активные угли** различных марок, эффективность которых определяется наличием в них микропор. Суммарный объем микропор активного угля является его основной характеристикой, которая приводится для каждой марки активного угля. Интересно, что активные угли в первую очередь адсорбируют органические вещества не природного происхождения, а именно: фенолы, спирты, эфиры, кетоны, нефтепродукты, амины, «жесткие» поверхностно-активные вещества, органические красители, различные хлорамины.

На стадии глубокой очистки сточных вод концентрация загрязняющих веществ (органических соединений) снижается на 90–99 %. Показатели качества сточных вод после очистки на фильтрах представлены в таблице 6.6.

Активированные угли также хорошо сорбируют полициклические ароматические углеводороды, в том числе канцерогенные, большинство нефтепродуктов, хлор- фосфоорганические соединения, пестициды, соли тяжелых металлов и другие соединения. В присутствии механических примесей сорбционная емкость активного угля снижается. Поэтому поступающая на обработку активированным углем вода должна содержать не более 10 мг/дм<sup>3</sup> взвешенных веществ.

Уголь нуждается в периодической взрыхляющей промывке. Это предотвращает возникновение эффекта туннелирования и обеспечивает вывод нерастворенных частиц загрязнений из фильтра. Уголь, исчерпавший свою сорбционную способность (емкость), полностью заменяется.

**Недостатки при удалении органики:** пока поглотительный элемент новый, система работает прекрасно. Но со временем микроорганизмы накапливаются на поверхности сорбента и начинают там размножаться. В таком случае вода на выходе может стать даже более загрязненной, чем на входе. Иногда, чтобы избежать такой ситуации, сорбент покрывают серебром, но серебро не убивает микроорганизмы, а лишь препятствует их размножению на поверхности сорбента. Кроме того, со временем сорбент насыщается, и его необходимо заменять.

Добавление окислителей (озона или хлора) перед подачей воды на угольные фильтры позволяет увеличить срок службы активного угля до его замены, улучшить качество очищенной воды или проводить очистку от соединений азота. При совместном проведении сорбции и озонирования происходит синергический эффект. Озон разрушает макромолекулы, а затем активный уголь сорбирует продукты частичного разложения в 1,5–3 раза эффективнее, чем без предварительного окисления. Эффект сорбционной очистки при предварительном озонировании воды повышается на 30–60 %. Предполагается, что при этом происходит, во-первых, деструкция биологически трудноокисляемых соединений с образованием окисляемых, в результате чего на угольной загрузке протекают биологические процессы окисления органических веществ, и, во-вторых, в результате воздействия озона на макромолекулы их молекулярный вес и размеры уменьшаются, и они могут сорбироваться в истинных микропорах активного угля. Комбинация методов озонирования и сорбции позволяет снизить в 2–5 раз расходы и озона, и активного угля по сравнению только с сорбцией или только с озонированием, а следовательно, и стоимость очистки.

При хлорировании воды с последующей сорбцией на активном угле происходит удаление аммонийного азота. При хлорировании воды, содержащей аммонийный азот, в зависимости от рН, соотношения дозы активного хлора и концентрации аммонийного азота образуется смесь монохлораминов, дихлораминов, треххлористого азота, сорбируемых при фильтрации активным углем, и молекулярного азота, уходящего в атмосферу.

Основные параметры процесса: доза хлора 8–12 мг/мг  $\text{NH}_4\text{N}$  в зависимости от содержания органических веществ и конечных продуктов реакции с  $\text{NH}_4\text{N}$ , скорость фильтрования 5–7 м/ч, время контакта с углем 6–10 минут, оптимальный диапазон pH 7–8, полное перемешивание воды с гипохлоритом натрия. Недостатком способа является увеличение концентрации хлоридов в очищенной воде, особенно при обработке сточных вод с относительно высокой концентрацией аммонийного азота; преимуществом – увеличение срока службы угля до замены или регенерации за счет окисления органических веществ хлором на пористой поверхности угля, более высокая степень очистки от органических веществ, полное обеззараживание воды, удаление аммонийного азота с превращением в молекулярный азот, уходящий в атмосферу.

Существует достаточно широкий ассортимент **сорбентов для извлечения нефтепродуктов**. Сорбенты на основе *неорганических материалов* (диатомит, цеолиты, глина, песок) имеют низкую нефтеемкость, гидрофильны, требуют дополнительного модифицирования, вызывают трудности с утилизацией и совершенно не удерживают легкие фракции нефтепродуктов (бензин, керосин, дизельное топливо). *Синтетические* сорбенты обладают хорошей поглощательной способностью, однако отличаются большей стоимостью и сложностью утилизации в силу высокой токсичности продуктов горения. Наиболее привлекательны и перспективны сорбенты *растительного* (органического) происхождения. Они являются органической частью существующих экосистем и в наибольшей степени соответствуют экологическим требованиям. В этой группе можно выделить сорбенты на основе торфяного мха или стружки скорлупы кокосового ореха (Shelltic C). Но в отличие от торфяного мха, добыча которого является губительным вмешательством в экосистему, скорлупа кокоса – это отход пищевого производства и изготовление кокосового абсорбента – отличный пример эффективного использования природных ресурсов экосистемы. Растительный сорбент обладает высокой сорбционной емкостью и гидрофобностью.

Период работы загрузки адсорбционных фильтров до ее замены определяется продолжительностью рабочего периода фильтров. Рабочий период эксплуатации фильтров зависит от количественных и качественных показателей исходной воды и адсорбционной емкости сорбента. Продолжительность эксплуатации фильтров до замены, например, активированного угля составляет 1,5–2 года. Фактическая продолжительность работы фильтров определяется в процессе эксплуатации станции очистки.

Различают следующие **виды сорбции**:

- 1) *адсорбция* – поглощение загрязнений поверхностью твердого тела;
- 2) *абсорбция* – поглощение загрязнений всем веществом сорбента; процесс сопровождается диффузией загрязненного вещества в объем сорбента с образованием раствора. Абсорбентами являются обычно жидкости. Аппараты называются **абсорберами**;

3) *хемосорбция* – адсорбция, при которой загрязняющее вещество вступает в химическую реакцию с сорбентом.

Процесс адсорбции является избирательным и обратимым.

*Десорбция* – удаление адсорбированного вещества с поверхности адсорбента. Десорбция обратна адсорбции и происходит при уменьшении концентрации адсорбируемого вещества в среде, окружающей адсорбент.

Хемосорбция не всегда обратима.

Таблица 6.6 – Показатели качества сточных вод после очистки на фильтрах

Показатель	Концентрация загрязнений до применения, мг/дм <sup>3</sup>	Концентрация загрязнений после доочистки, мг/дм <sup>3</sup>			
		на песчаных фильтрах	сорбционный фильтр, загружаемый углем АГ-5	сорбционный фильтр, загружаемый углем КАД йодным	сорбционный фильтр, загружаемый ТАУ углем
Взвешенные вещества	17–60	1,1–2,3	Отсутствуют		
ХПК	156–192	127–132	8,5–12	8,3–14,1	8–13,8
БПК <sub>5</sub>	18,1–26,7	4–9,8	1,8–3,7	1,83–3,4	1,5–3,1
NO <sub>2</sub>	Следы	0,15–0,35	0,15–0,31	0,23–0,39	0,28–0,35
NO <sub>3</sub>	0,03–3,9	0,95–5,1	1,1–6,8	1,2–6,3	1,0–5,5
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	2,6–9,6	1,47–6,75	0,8–6,0	0,65–5,75	1,1–6,35
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	1,38–7,4	0,85–6,25	0,5–5,7	0,55–5,85	0,6–5,6
Растворимый кислород	6–8,5	3,2–5	2,65–2,91	2,7–2,85	2,6–2,9

Сорбенты представляют собой пористый материал, впитывающий загрязнения (а если сорбент гидрофилен, то и воду). Поэтому любой сорбент может поглотить жидкости не более того, что позволит его пористость (объем пустого пространства между частицами или волокнами сорбента). *Массовая доля поглощенного вещества* – это отношение массы поглощенного продукта к массе твердого вещества в сорбенте. Массовая емкость поглощения

$$e = \frac{m_{\text{нп}}}{m_{\text{сор}}}, \quad (6.7)$$

где  $m_{\text{нп}}$  – масса поглощенного нефтепродукта, г;

$m_{\text{сор}}$  – масса использованного сорбента, г.

Кроме массовой емкости поглощения существует понятие *объемной емкости поглощения*, которая представляет собой пористость материала, выраженную в долях.

Общая пористость, %,

$$П = \left(1 - \frac{\rho}{\rho_{\text{п}}}\right) \cdot 100, \quad (6.8)$$

где  $\rho$  – объемная плотность сорбента, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{п}}$  – плотность полимера, кг/м<sup>3</sup>.

Различают **статическую емкость** сорбента – максимальное количество поглощаемого вещества к моменту достижения равновесия в сорбенте и растворе в покое при постоянной температуре и концентрации вещества и **динамическую емкость** – максимальное количество вещества, поглощаемого сорбентом до момента появления сорбируемого вещества в фильтрате при пропуске СВ через слой сорбента. В промышленных адсорберах динамическая сорбционная емкость составляет 45–90 % от статической.

**Сорбция на порошкообразном активированном угле.** Уменьшение размеров частиц угля сильно влияет на процесс сорбции, например: при гранулированном угле для достижения состояния равновесия нужно несколько дней, для порошкообразного – несколько минут.

Процесс очистки с использованием порошкообразного сорбента происходит в несколько ступеней (рисунок 6.11). На каждой ступени осуществляется **перемешивание** угля и СВ, происходит **реакция сорбции и отстаивание**. После последней ступени вода фильтруется через песчаную загрузку для задержания частиц, не выпадающих в осадок при отстаивании. При последовательном введении сорбента на каждой ступени используется свежий сорбент и может быть обеспечена очистка сточных вод до минимальных концентраций.

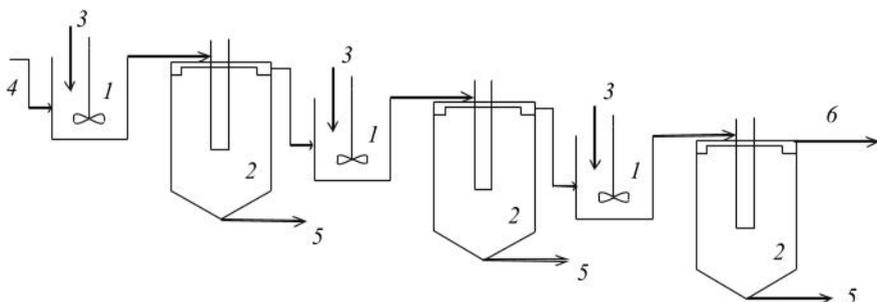


Рисунок 6.11 – Схема трехступенчатой сорбционной установки с последовательным введением сорбента:

1 – мешалка; 2 – отстойник; 3 – адсорбент; 4 – исходная сточная вода; 5 – отработанный адсорбент; 6 – очищенная сточная вода

При многократной противоточной сорбции обеспечивается более глубокая очистка сточных вод при одной и той же дозе сорбента и более полно используется его сорбирующая способность (рисунок 6.12). Противоточные установки применяются значительно шире вследствие более экономичного расходования сорбента.

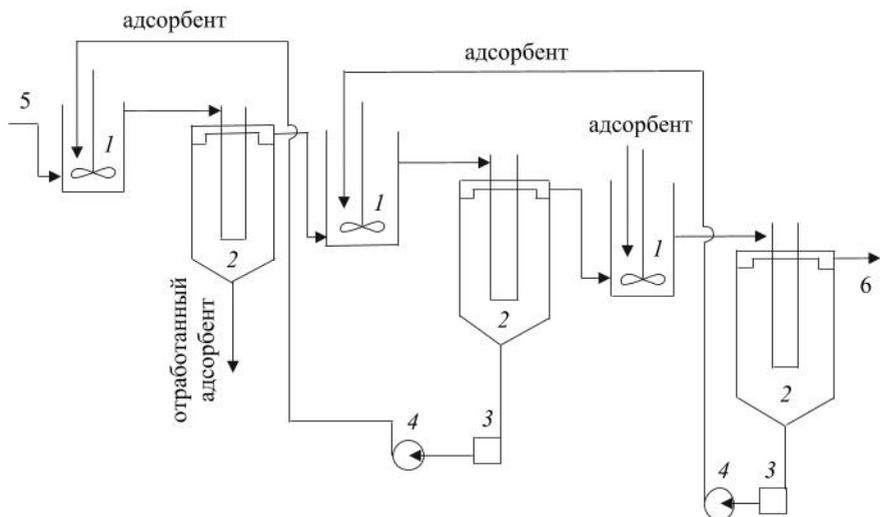


Рисунок 6.12 – Схема трехступенчатой сорбционной установки с противоточным введением сорбента:

1 – мешалка; 2 – отстойник; 3 – приемник сорбента; 4 – насос; 5 – исходная сточная вода; 6 – очищенная сточная вода

**Сорбция в неподвижном слое сорбента.** Принцип действия заключается в фильтровании сточных вод до момента проскока загрязняющих веществ в фильтрат в количестве, превышающем допустимый предел.

Установки выполняются закрытыми (напорными) в виде стальных цилиндрических колонн (рисунок 6.13) и открытыми (безнапорными) в виде резервуаров прямоугольного или круглого сечения (рисунок 6.14).

Скорость фильтрации рекомендуется принимать  $v_{\text{ф}} = 1 \dots 12$  м/ч. Фильтрация воды осуществляется сверху вниз.

К недостаткам аппаратов с неподвижным слоем сорбента относят периодичность их действия.

Сорбционные фильтры DVAC (рисунок 6.15) предназначены для различных отраслей промышленного производства, в том числе для очистки сточных вод от ПАВ, нефтепродуктов и растворимых органических веществ. Кроме того, фильтры такого типа широко используются для водоподготовки. В качестве загрузки в фильтрах используются активированные угли, шунгит и другие сорбенты, предназначенные для улавливания молекул органических веществ в процессе очистки воды. Фильтровальные установки работают в непрерывном режиме и обеспечивают извлечение низких концентраций органических веществ из производственных сточных вод до норм предельно допустимых концентраций. Благодаря высокой сорбционной емкости предлагаемых сорбентов регенерация проводится гораздо реже.

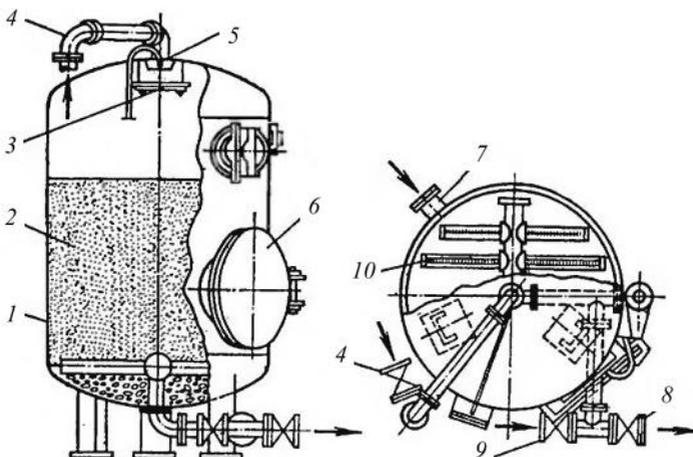


Рисунок 6.13 – Схема адсорбционной очистки с неподвижным слоем сорбента:  
 1 – корпус; 2 – уголь; 3 – отстойник; 4 – подача сточной воды; 5 – патрубок для выпуска воздуха; 6 – люк; 7 – трубопровод гидровыгрузки угля; 8 – трубопровод отвода очищенной воды; 9 – трубопровод подачи взрыхляющей воды; 10 – распределительная система труб

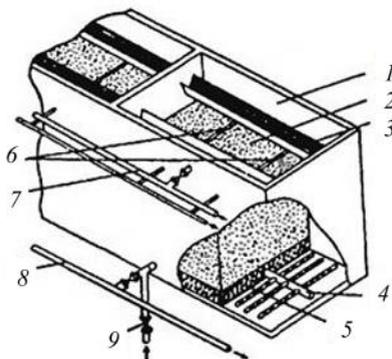


Рисунок 6.14 – Схема адсорбционной очистки с неподвижным слоем сорбента:  
 1 – корпус; 2 – уголь; 3 – желоб для сбора очищенной воды; 4 – дренажная система;  
 5 – поддерживающие гравийные слои; 6 – трубопровод поверхностной промывки слоя сорбента; 7 – трубопровод подачи сточной воды; 8 – трубопровод отвода очищенной воды;  
 9 – трубопровод подачи взрыхляющей воды

**В аппаратах с плотным движущимся слоем сорбционный материал перемещается с некоторой скоростью навстречу потоку жидкости. Условно делятся на две группы: I – адсорберы, в которых сорбент перемещается навстречу потоку очищаемой жидкости под действием силы тяжести; II – аппараты, в которых слой адсорбента перемещается при помощи различных механических устройств.**



Рисунок 6.15 – Сорбционные фильтры DVAC

**Сорбция в псевдооживленном слое активированного угля.** Вода пропускается через слой сорбента с диаметром частиц 0,25–1 мм со скоростью 7–10 м/ч; при этой скорости частицы сорбента взвешиваются восходящим потоком воды и насыщаются загрязнениями сточных вод. Весь процесс происходит в псевдооживленном слое с расширением его в 1,5 раза ( $H_{\text{дин}} / H_{\text{ст}} = 1,5$ ); контакт улучшается, процесс ускоряется. Чаще всего применяются одноступенчатые адсорберы с псевдооживленным слоем (рисунок 6.16).

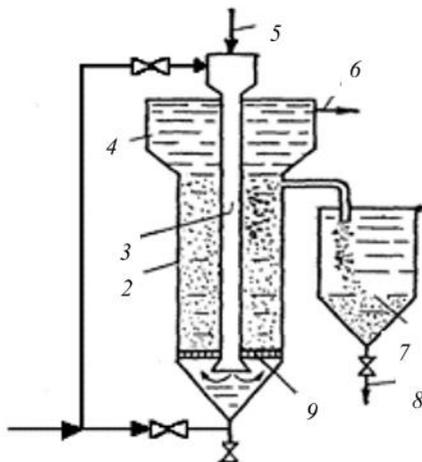


Рисунок 6.16 – Одноступенчатый адсорбер с псевдооживленным слоем сорбента: 1 – подача сточной воды; 2 – псевдооживленный слой сорбента; 3 – центральная труба с диффузором; 4 – зона отстаивания; 5 – подача сорбента; 6 – выпуск обработанной сточной воды; 7 – сгуститель сорбента; 8 – выпуск отработанного сорбента; 9 – распределительная решетка

## 6.5 Электрохимическая очистка

К электрохимическим методам очистки СВ относят:

- электрокоагуляцию;
- электрофлотацию;
- электролиз;
- электродиализ.

Схема установки для электрокоагуляционного метода очистки сточных вод от хрома представлена на рисунке 6.17.

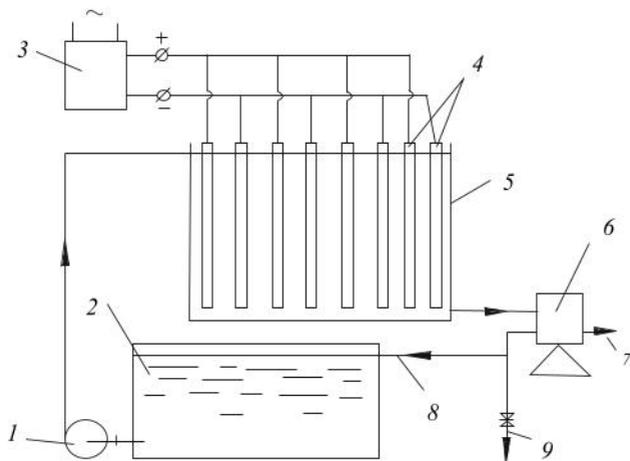


Рисунок 6.17 – Схема установки для электрокоагуляционного метода очистки сточных вод от хрома:

- 1 – насос; 2 – ванна хромирования; 3 – источник постоянного тока; 4 – электроды;  
5 – электрокоагулятор; 6 – центрифуга (сепаратор); 7 – обезвоженный осадок;  
8 – подача очищенной воды на использование; 9 – сброс в канализацию

Электрокоагуляция применяется в основном для очистки сточных вод гальванических производств при необходимости извлечения шестивалентного хрома и ионов тяжелых металлов (железо, никель, цинк, медь и т. д.) и сточных вод, образующихся при химической и электрохимической обработке стали (хромирование, травление, электрополировка). Применяется также для удаления жиров, эмульгированных нефтепродуктов и мелких взвешенных веществ.

Процесс электрокоагуляции (рисунок 6.18) заключается в растворении под действием постоянного электрического тока металла электродов с образованием нерастворимых в воде хлопьев гидроксида металла, способных сорбировать загрязняющие вещества. Электроды в них выполняются из листового алюминия или железа. Подвод электропитания осуществляется от источников постоянного (выпрямленного) тока по монополярной схеме с реверсированием через 0,5–1,0 ч.

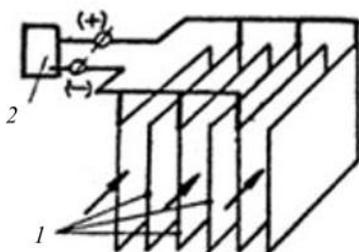


Рисунок 6.18 – Схема электрокоагулятора:

1 – электроды;  
2 – источник постоянного тока

Доза металла электродов  $D$  определяется методом пробного электрохимического коагулирования или ориентировочно при удалении нефтепродуктов принимается по таблице 6.7.

Таблица 6.7 – Необходимая доза металла  $D$

Доза металла, мг/дм <sup>3</sup>	Исходная концентрация растворенных и эмульгированных нефтепродуктов $C_n$ , мг/дм <sup>3</sup>		
	150	100	50
Алюминий	2–9	2–8	1,5–6
Железо	25–30	20–50	15–40

В таблице 6.7 минимальная доза соответствует скорости движения воды  $v = 2$  мм/с, максимальная – скорости  $v = 6$  мм/с. Размеры электрокоагулятора принимаются такими, чтобы через него протекал весь расход обрабатываемых сточных вод. Расстояние между пластинами электродов  $l_3$  рекомендуется в пределах 15–20 мм.

**Электрохимическое окисление (электролиз).** Основу составляют два процесса: анодное окисление и катодное восстановление. На нерастворимых анодах выделяется кислород и галогены, а также происходит деструкция органических загрязнений с образованием органических кислот,  $CO_2$ ,  $H_2O$ . На катоде выделяется газообразный водород и восстанавливаются некоторые органические вещества.

Электрохимическое окисление применяется в различных отраслях промышленности при очистке производственных сточных вод, содержащих фенолы, цианиды, медь, нитросоединения, сульфиды, спирты, красители, толуол и др.

При электролизе отработанных гальванических растворов регенерируется 80–100 %  $H_2SO_4$  и извлекается до 25–50 кг порошкообразного железа из 1 м<sup>3</sup> раствора.

При удалении ионов тяжелых металлов необходимый расход электродов:

- цинк – 2,5–3 г;
- медь – 3–3,5 г;
- кадмий – 4–4,5 г;
- никель – 5,5–6 г.

Показатель рН среды при удалении цинка и меди – от 4 до 6, кадмия и никеля – от 6,5 до 7,5. При соблюдении данных условий эффективность очистки 90–95 %.

Содержащиеся в щелочных сточных водах цианиды окисляются до цианат-ионов и далее до безвредных продуктов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ).

Катоды изготавливают из углеродистой или легированной стали, свинца, меди, титана. Аноды – из графитированного угля, магнетита, оксида свинца, платины, марганца, смеси оксидов рутения с другими металлами на титане.

Метод применяется при небольших расходах производственных сточных вод и высокой концентрации загрязняющих веществ. Применение электролиза целесообразно при наличии неорганических солей, кислот или щелочей с концентрацией  $500 \text{ мг/дм}^3$ , что обуславливает высокую электропроводность сточных вод. При отсутствии солей в воде для повышения эффективности процесса добавляется хлорид натрия ( $5\text{--}10 \text{ г/дм}^3$ ), который увеличивает электропроводность раствора и разлагается на аноде с образованием атомов хлора, участвующих в окислительном процессе. Рекомендуемая плотность тока  $30\text{--}100 \text{ А/м}^2$ .

Недостатки метода: большой расход электроэнергии и расход металла, необходимость очистки электродов и межэлектродного пространства от механических примесей, возможность образования взрывоопасной смеси водород-кислород.

Процесс осуществляется в электролизерах, которые могут быть разделены на отсеки. Перегородки выполняют из асбеста, стеклоткани и других инертных пористых природных и синтетических материалов.

**Электрофлотация** (рисунок 6.19) является частным случаем электролиза и применяется для удаления эмульгированных жиров, нефтепродуктов, тяжелых металлов и поверхностно-активных веществ. Частицы загрязнений прилипают к пузырькам электролизного газа, образующегося на электродах. Главным образом это пузырьки катодного водорода.

В случае применения растворимых анодов параллельно с электрофлотацией идет процесс электрокоагуляции, т. е. растворение анодного металла в воде, с образованием хлопьев гидроксида, интенсивно сорбирующих загрязнения. Пузырьки электролизного газа прилипают к хлопьям гидроксида и всплывают вместе с ними на поверхность во флотационной камере.

Во флотаторе электроды расположены параллельно. Электроды могут быть изготовлены из листового алюминия или железа, круглых стержней, металлической стружки и т. д. Расстояние между ними составляет обычно не менее 10 мм. Время пребывания воды в электродном блоке – 5–10 мин, в камере флотации – 20–45 мин.

Пена удаляется скребками.

Ширина камеры: при  $Q < 90 \text{ м}^3/\text{ч}$   $B = 2 \text{ м}$ ; при  $Q > 90 \text{ м}^3/\text{ч}$   $B = 2,5 \dots 3 \text{ м}$ .

Подобные установки применяют в особых случаях: при малых расходах воды, в суровых климатических условиях и др.

На рисунке 6.20 показан электрофлотатор для очистки сточных вод.

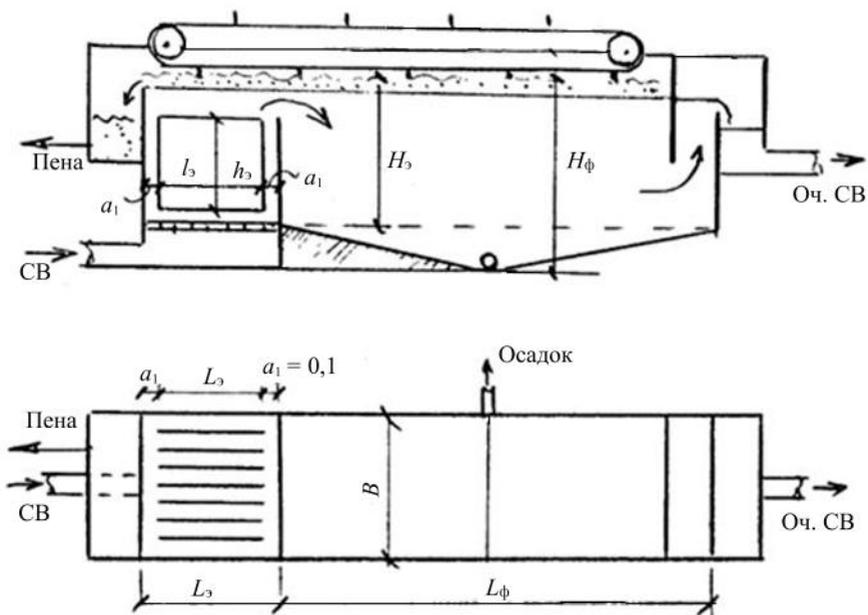


Рисунок 6.19 – Схема электрофлотационной установки

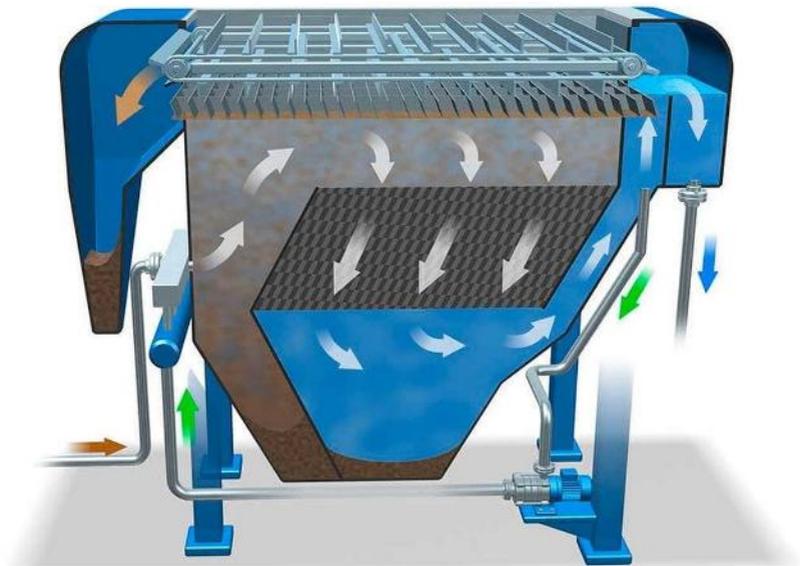


Рисунок 6.20 – Электрофлотатор для очистки сточных вод

Электрофлотационный модуль состоит из электрофлотатора с блоком нерастворимых электродов, пеносборного устройства, источника питания постоянного тока, дополнительных накопительных емкостей для химических реагентов, сточной воды и очищенной воды, насосов, дозирующих насосов.

В таблице 6.8 представлены основные технические характеристики электрофлотатора.

**Таблица 6.8 – Основные технические характеристики электрофлотатора**

Параметр	Значение	
Габаритные размеры электрофлотатора, мм:		
– длина	2500	
– ширина	1300	
– высота	1300	
Масса, кг		200
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	1	50
Исходная концентрация загрязнений, мг/дм <sup>3</sup> , не более:		
– рН	3	12
– тяжелые металлы	10	100
– взвешенные вещества	30	300
– нефтепродукты	50	1000
Остаточная концентрация загрязнений, мг/дм <sup>3</sup> , не более		
– рН	6,5	8,5
– тяжелые металлы	0,1	1
– взвешенные вещества	0,3	2
– нефтепродукты	0,5	50
Расход флокулянта (по сухому веществу)	5	10
Потребляемая мощность, кВт·ч/м <sup>3</sup>	0,5	1
Напряжение питания электродов, В	24	32
Срок службы нерастворимых электродов, лет	До 10	–

Сравнение эффективности электрофлотации и электрокоагуляции приведено в таблице 6.9.

**Таблица 6.9 – Сравнение эффективности электрофлотации и электрокоагуляции**

Параметр	Электрокоагулятор	Электрофлотатор
Энергозатраты, кВт ч/м <sup>3</sup>	1–1,5	0,1–0,5
Степень очистки, %	80–95	95–99,5
Вторичное загрязнения воды	Fe 1 мг/дм <sup>3</sup> Al 0,5–1 мг/дм <sup>3</sup>	Отсутствует
Вторичное загрязнение твердых отходов (ионы тяжелых металлов)	30 % (Cu, Ni, Zn, Cr)	Отсутствует
Режим эксплуатации	Периодический	Непрерывный

Окончание таблицы 6.9

Параметр	Электрокоагулятор	Электрофлотатор
Расход материалов и реагентов	Fe и/или Al-анод (5–10 дней)	Fe, Al-анод (15–30 дней) Ti-анод (5–10 лет)
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	До 5	От 1 до 50
Осадок гальванического шлама	Пульпа 99 % влажности	Пенный продукт 94–96 % влажности

Современный электродиализный метод обработки воды представляет собой мембранный процесс, основанный на явлении переноса ионов электролита через селективные ионообменные мембраны под действием постоянного электрического тока. В настоящее время область применения электродиализного метода не ограничивается опреснением соленых вод и обессоливанием пресных. Возможно также высокое (предельное) концентрирование электролитов, удаление электролитов из органических растворов, сепарация разных электролитов, получение реагентов (кислот и щелочей) из растворов нейтральных солей с помощью биполярных мембран. Его преимущества перед другими методами очевидны: метод не требует фазового превращения воды, необходимого в дистилляции, вымораживании или газгидратном методе; действует при низких давлениях и температуре; характеризуется пропорциональностью потребляемой энергии солености исходной воды. Последнее особенно справедливо в случае использования электродиализа для опреснения солоноватых вод (1,5–3 г/дм<sup>3</sup> солей) и частичного обессоливания пресных вод (0,6–1 г/дм<sup>3</sup> солей). Широкому промышленному использованию электродиализного метода мешает ряд ограничений эксплуатационного характера:

- «отравление» анионообменных мембран органическими веществами, содержащимися в природных водах;

- «отравление» катионообменных мембран железом, марганцем, присутствующими в природных водах;

- выпадение в осадок карбоната кальция, гидрата оксида магния и (реже) гипса в результате работы электродиализного аппарата в условиях поляризации;

- работа установки при предельных плотностях тока ниже оптимальных, что приводит к повышению себестоимости деминерализации воды;

- высокие капитальные затраты и эксплуатационные расходы на отдельные компоненты промышленных электродиализных установок, включая заменяемые прокладки и мембраны.

Обработка воды производится в электродиализаторах – аппаратах, представляющих собой систему рабочих ячеек (дильюатных и рассольных камер), каждая из которых содержит мембраны противоположной полярности, разделенные лабиринтно-сетчатыми перегородками-прокладками или корпус-

ными рамками с закладкой либо ввариваемой сеткой. Прокладки и корпусные рамки с сеткой выполняют двойную функцию: направляют течение жидкости между мембранами и создают турбулентность потока, повышающую эффективность процесса. Эта система находится между двух электродов, погруженных в электролит. Они поддерживают постоянное напряжение. На электродах происходит электрохимическая реакция, которая трансформирует электронный ток в ионный: ионы водорода  $H^+$  восстанавливаются на катоде до молекулярного водорода  $H_2$  и выделяются в виде газа, а ионы гидроксида  $OH^-$  и хлор-ионы  $Cl^-$  окисляются на аноде до хлора  $Cl_2$  и кислорода  $O_2$  и также выделяются в виде газов. Для осуществления электродиализа требуется только электрический ток и незначительное количество реагентов (кислоты, щелочи, фосфаты). Перед электродиализными аппаратами необходима глубокая очистка воды от органических веществ, соединений железа и других загрязнений. Очистка воды от взвешенных веществ осуществляется известными методами (коагуляцией, отстаиванием, фильтрованием и др.). Особенно эффективно применение перед электродиализными установками и ультрафильтрацией воды.

Электродиализатор разделен чередующимися катионитовыми и анионитовыми мембранами, образующими концентрирующие (рассольные) и обессоливающие (дилюатные) камеры. Под воздействием постоянного тока катионы, двигаясь к катоду (« $\rightarrow$ »), проникают через катионитовые мембраны, но задерживаются анионитовыми, а анионы, двигаясь в направлении анода (« $\leftarrow$ »), проходят через анионитовые мембраны, но задерживаются катионитовыми. В результате этого из одного ряда камер (например, четных) ионы обоих знаков выводятся в смежный ряд камер (рисунок 6.21).

На рисунке 6.22 показана схема электродиализной ячейки. Камеры 1 и 2 образованы мембранами – анионообменными А и катионообменными К. Анионообменные мембраны пропускают только анионы, катионообменные только катионы. Катионы перемещаются по направлению электрического тока, поэтому они могут выйти из камер 2, проходя через катионообменные мембраны, но не могут выйти из камер 1, так как встречают анионообменные мембраны. Анионы перемещаются по направлению противоположному направлению электрического тока; они тоже могут выйти из камер 2, проходя через анионообменные мембраны, но не могут выйти из камер 1, так как катионообменные мембраны преграждают им путь. Таким образом, камеры 2 получили название дилюатных, а камеры 1, обогащающиеся солями, – рассольных.

Мембраны для электродиализатора изготавливают в виде гибких листов прямоугольной формы или рулонов из термопластичного полимерного связующего и порошка ионообменных смол. В таблице 6.10 приведены основные свойства ионитовых мембран.

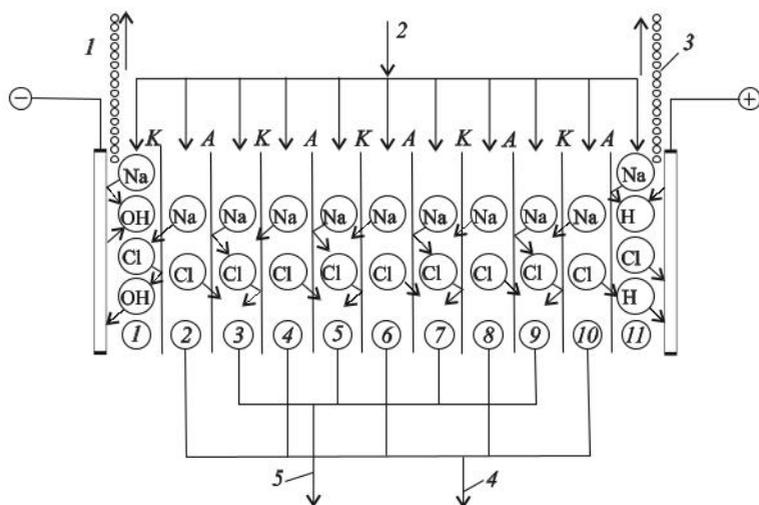


Рисунок 6.21 – Схема процесса электролиза (цифры в кружках – номер камер):  
 A – анионитовые мембраны; K – катионитовые мембраны; 1 – выход газообразного водорода;  
 2 – подача сточной воды; 3 – выход газообразных кислорода и хлора;  
 4 – выпуск обессоленной воды; 5 – выпуск концентрированного рассола

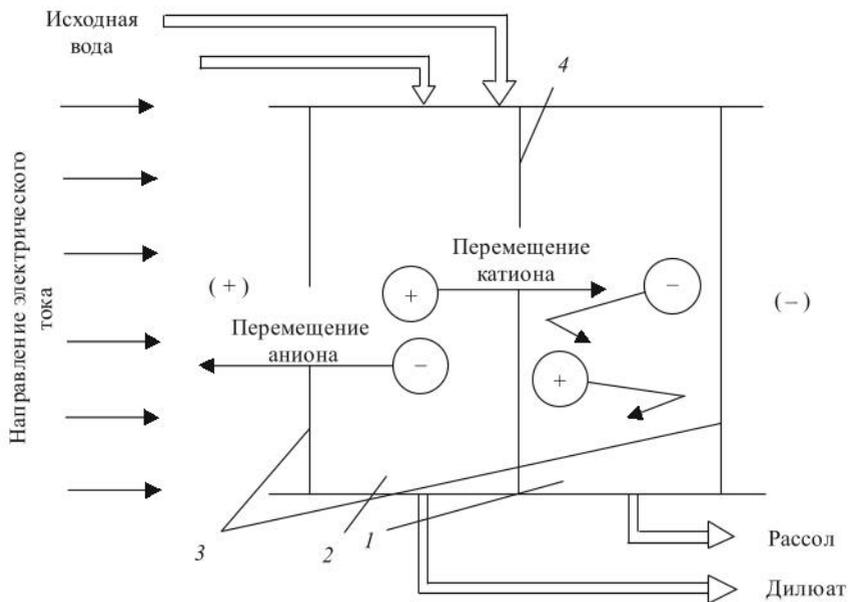


Рисунок 6.22 – Электролизная ячейка:  
 1 – рассольная камера; 2 – камера обессоливания; 3 – анионообменная мембрана;  
 4 – катионообменная мембрана

Электродиализные аппараты применяются двух типов: прокладочные и лабиринтные. Электродиализаторы прокладочного типа (ЭДУ-50, ЭХО-М-5000Х200, «Родник-3») имеют горизонтальную ось электрического поля; их пропускная способность 2–20 м<sup>3</sup>/ч. Электродиализаторы лабиринтного типа (Э-400М, ЭДУ-2, ЭДУ-1000, АЭ-25) имеют вертикальную ось электрического поля; их пропускная способность 1–25 м<sup>3</sup>/ч. Оптимальная область применения электродиализаторов – при концентрации солей в сточной воде 3–8 г/дм<sup>3</sup>. Во всех конструкциях электродиализаторов в основном применяют электроды, изготовленные из платинированного титана. Для эффективной работы аппаратов большое значение имеет промывка приэлектродных камер, что предохраняет крайние мембраны от разрушения продуктами электролиза.

Таблица 6.10 – Основные свойства ионитовых мембран

Марка	Толщина, мм	Ионообменная емкость, мг-экв/г	Селективность в 0,1Н растворе NaCl	Электрическое сопротивление, Ом/см <sup>2</sup>		Прочность на разрыв, МПа
				удельное	поверхностное	
<i>Анионитовые мембраны</i>						
Ma-40	0,5–0,7	3–4,4	0,94	200–250	12–17	12–13
Ma-100	0,3	2–2,3	0,97	150–180	3,5–6	12–14
A-4	0,6	3,5	0,93	–	–	–
PMA	0,1	5	0,96	104	1	8
<i>Катионитовые мембраны</i>						
МК-40	0,4–0,7	2,3–2,5	0,96	180–203	9,8–16,2	12–15
МК-100	0,3	2,5–2,8	0,97	120–150	2,4–5	12–15
K-2	0,4–0,7	2	0,96	–	–	–
PMK-10	0,3	1,9	0,86	208	13	13

Технологические схемы электродиализных установок (ЭДУ) состоят из следующих узлов:

- аппаратов предварительной подготовки исходной воды;
- собственно электродиализной установки;
- кислотного хозяйства и системы сжатого воздуха;
- фильтров, загруженных активированным углем БАУ или АГ-3.

Технологические схемы бывают следующих типов:

1) прямоточные электродиализные установки, в которых сточная вода последовательно или параллельно проходит через аппараты установки и соле-содержание воды снижается от исходного до заданного за один проход;

2) циркуляционные (порционные) электродиализные установки, в которых определенный объем частично обессоленной воды из бака дилюата перекачивается через мембранный электродиализный аппарат обратно в бак до тех пор, пока не будет достигнута необходимая степень обессоливания;

3) циркуляционные электродиализные установки непрерывного действия, в которых часть сточной воды непрерывно смешивается с частью неполностью обессоленной воды (дилуата), проходит через электродиализатор и подается потребителю или в резервуар очищенной воды;

4) электродиализные установки с аппаратами, имеющими последовательную гидравлическую систему движения потоков в рабочих камерах.

Каждая из указанных выше технологических схем имеет определенные преимущества и недостатки, и их выбор производится на основании технико-экономических расчетов. Исходными параметрами для расчета являются конкретные местные условия, пропускная способность электродиализных установок, солесодержание и состав обрабатываемых сточных вод. Например, при суточном расходе более 300–500 м<sup>3</sup> сточных вод считается рациональным применение технологических схем прямоточного типа.

**Применение мембран обессоливания.** Для мембран обессоливания, работающих при больших давлениях, возможно как параллельное, так и последовательное соединение модулей.

Если в сосуде между пресной и соленой водой (рисунок 6.23) поместить полупроницаемую перегородку, способную пропускать воду и задерживать гидратированные ионы растворимых в воде солей, то можно наблюдать, как пресная вода начинает поступать в отсек с соленой водой. Переток чистой воды происходит вследствие разницы концентрации жидкости по обеим сторонам перегородки. Через некоторое время уровень пресной воды станет заметно ниже уровня соленого раствора. Разница уровней после установившегося равновесия характеризует осмотическое давление растворенного вещества. Процесс самопроизвольного перетекания менее концентрированного раствора в более концентрированный через полупроницаемую перегородку называют осмосом. Если создавать в соленом растворе давление, превышающее осмотическое, то возникает перетекание молекул пресной воды в направлении, обратном ее естественному движению, т. е. вода из раствора начинает перетекать через перегородку в пресную воду. Такой процесс известен под названием обратный осмос. Таким образом, опреснение соленой воды методом обратного осмоса основывается как раз на процессе перетекания молекул чистой воды из раствора при создании давления, превышающего осмотическое, в направлении от раствора к пресной воде через полупроницаемую перегородку.

**Обратный осмос (гиперфильтрация)** (рисунок 6.24) применяется для выделения из воды тончайших примесей на уровне молекул и ионов, поэтому в установках обессоливания значительную роль, в отличие от установок осветления, играет осмотическое давление раствора.

Надежная работа установки обратного осмоса требует от обратноосмотических мембран учета двух основных факторов – проницаемости воды и за-

держки соли. Кроме того, мембрана должна обладать необходимой прочностью для работы при высоких давлениях, химической стойкостью и устойчивостью к микробиологическому загрязнению

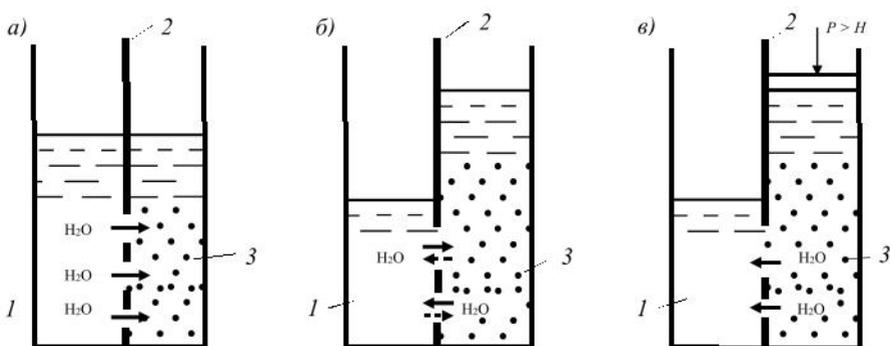


Рисунок 6.23 – Схема движения молекул через полупроницаемую мембрану: а – начало осмотического переноса; б – равновесное состояние; в – обратный осмос под давлением  $P > H$ ; 1 – вода; 2 – полупроницаемая мембрана; 3 – раствор солей



Рисунок 6.24 – Установка обратного осмоса

Наиболее широко обратный осмос используется для обессоливания воды и доочистки сточных вод от растворенных органических и минеральных примесей, гидратированных ионов солей, мельчайших коллоидных примесей, бактерий и вирусов. Связь между осмотическим давлением и концентрацией раствора определяется законом Вант-Гоффа

$$P_{\text{осм}} = CRT, \quad (6.9)$$

где  $P_{\text{осм}}$  – осмотическое давление, Па;

$C$  – концентрация, моль/м<sup>3</sup>,

$$C = \frac{C, \text{ кг/м}^3}{m, \text{ кг/моль}}; \quad (6.10)$$

$R$  – универсальная газовая постоянная,  $R = 8,314$  Дж·К/моль;

$T$  – температура, К.

Для преодоления значительного гидравлического сопротивления мембран и осмотического давления раствора и растворителя нужно создать перед мембраной рабочее давление, значительно превышающее осмотическое, в пределах от 4 до 10 МПа. При этом будет происходить переход растворенных веществ из концентрированного раствора в разбавленный. Это явление называется обратным осмосом.

В существующих обратноосмотических аппаратах (рисунок 6.25) исходная сточная вода (раствор) под давлением  $P$  проходит мембрану и собирается в приемнике.

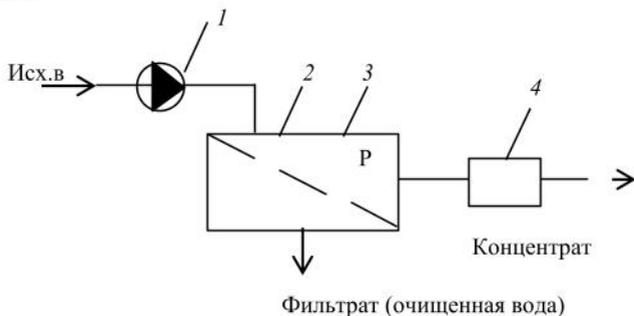


Рисунок 6.25 – Схема процесса очистки воды методом обратного осмоса:

1 – насос; 2 – мембранный модуль; 3 – полупроницаемая мембрана;

4 – редукционный клапан

Размеры пор мембраны могут изменяться в широких пределах и определяются размерами задерживаемых загрязнений. Концентрат растворенных загрязнений отводится в специальную емкость из напорной камеры через

клапан, редуцирующий давление до атмосферного. При содержании растворенных загрязнений 5–10 % потребное рабочее давление  $P$  составляет 5–10 МПа (обычно не более 8 МПа).

Эффективность процесса определяется типом и свойствами применяемых мембран, а диаметр задерживаемых частиц – размерами пор. Основными характеристиками их являются:

- удельная производительность (проницаемость)  $q$ ,  $\text{м}^3/\text{м}^2\cdot\text{сут}$ ;
- селективность (разделяющая способность);
- стойкость и прочность;
- стоимость.

В промышленности применяют ацетатцеллюлозные, плоские (листовые), трубчатые, спиральные (рулонные) мембраны и полиамидные мембраны из полых волокон с внутренним диаметром 24–80 мкм. Последние более устойчивы к воздействию химических и биологических факторов, более долговечны. При эксплуатации под влиянием высокого давления и засорения проницаемость мембран снижается. Срок службы ацетатцеллюлозных мембран составляет 2–3 года, полиамидных 3–5 лет. Промышленность выпускает гиперфильтрационные ацетатные мембраны МГА-80, МГА-90, МГА-95 (цифра указывает процент улавливания примесей, т. е. характеризует селективную способность мембраны). Они рассчитаны на давление  $P = 1 \dots 8$  МПа, температуру  $T \leq 30$  °С и  $\text{pH} = 3 \dots 8$ . Пропускная способность (проницаемость) этих мембран составляет соответственно 0,6; 0,35 и 0,25  $\text{м}^3/\text{м}^2\cdot\text{сут}$ .

При обработке воды обратным осмосом в объеме установки до мембраны происходит концентрирование примесей, которые могут осаждаться на поверхности мембраны, выводя их из строя. Содержание веществ в концентрате непосредственно связано с коэффициентом выхода фильтрата

$$K_{\phi} = \frac{Q_{\phi}}{Q} \cdot 100, \quad (6.11)$$

где  $Q_{\phi}$  – расход фильтрата,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$Q$  – расход исходной воды,  $\text{м}^3/\text{ч}$

и соледержанием концентрата

$$S_{\text{к}} = \frac{100}{100 - K_{\phi}} S_{\text{исх}}, \quad (6.12)$$

где  $S_{\text{исх}}$  – концентрация веществ в исходной воде,  $\text{мг}/\text{дм}^3$ .

Для обратного осмоса (гиперфильтрации) рабочее давление обычно составляет от 0,85 до 7 МПа, а удельный выход фильтра  $q_{\text{уд}} = 10 \dots 40$   $\text{л}/\text{м}^2\cdot\text{ч}$ . Для нанофильтрации рабочее давление составляет от 0,5 до 1,0 МПа, проход одновалентных солей 10–80 %, двухвалентных от 1 до 10 %. Растворенные органические вещества задерживаются также как на осмотических мембранах,  $q_{\text{уд}} = 50 \dots 1000$   $\text{дм}^3/\text{м}^2\cdot\text{ч}$ .

*Преимущества нанофильтрации по сравнению с гиперфильтрацией:*

- пониженные значения  $\Delta P_{\text{осм}}$  и энергопотребления;
- более экономичны для частичного обессоливания с обеспечением необходимого умягчения воды;

– обеспечивается очистка от органических загрязнений (обесцвечивание, удаление пестицидов и т. п.) при меньшей опасности забивания мембран.

По сравнению с традиционными способами обработки воды методы гиперfiltrации и нанофильтрации обладают рядом преимуществ:

- энергозатраты относительно не велики;
- установки просты и компактны;
- химикаты не применяются;
- не требуется высокой квалификации обслуживающего персонала;
- фильтрат может использоваться по оборотной схеме;
- ввиду уменьшения объема концентрата он может быть легко использован или уничтожен.

Однако следует подчеркнуть, что большое влияние на стоимость процесса обессоливания оказывает качество исходной воды и требуемая глубина обессоливания. Необходимо тщательно учитывать затраты на предварительную обработку воды, особенности эксплуатации установок и соответствующие эксплуатационные затраты.

## 6.6 Экстракция. Эвапорация. Ионный обмен

**Экстракция.** Метод основан на введении в СВ жидкостей, обладающих следующими свойствами:

- не растворяются в сточной воде;
- их плотность значительно отличается от плотности воды;
- загрязнения растворяются в них значительно лучше, чем в СВ.

Эти жидкости называются *экстрагентами*. Процесс осуществляется следующим образом. После добавления экстрагента в сточную воду он тщательно перемешивается со сточной водой. При этом загрязнения растворяются в экстрагенте, и концентрация их в сточной воде уменьшается. Затем экстрагент отделяют от сточных вод отстаиванием или центрифугированием. То вещество, которое отделяется, называется *экстрагируемым веществом*. Очищенные сточные воды называются *рафинатом*.

Целесообразно применение при высокой концентрации загрязнений и их ценности. Удаляют нитропродукты, фенолы, жирные кислоты.

Наиболее распространены экстрагенты: бензол, эфир, четыреххлористый углерод, бутил-ацетат, изобутил-ацетат и др.

Применяются следующие виды экстракции:

1 Периодическая экстракция, состоящая в периодическом добавлении экстрагента к СВ в статических условиях. При этом требуется значительное

количество экстрагента, так как при одноразовой экстракции нельзя полностью удалить экстрагируемое вещество. Это можно сделать при повторных экстракциях, используя каждый раз новый экстрагент.

2 Непрерывная экстракция в одном аппарате по принципу противотока. Она является более экономичной. Производится в специальных аппаратах с загрузкой, позволяющей увеличить турбулентность потока и перемешивание.

Принципиальная схема непрерывной экстракции приведена на рисунке 6.26. Экстрактор представляет собой колонну с насадками, в которую подается вода и экстрагент. В тех случаях, когда плотность экстрагента меньше плотности воды, экстрагент подают снизу, как показано на схеме; при обратном соотношении плотностей экстрагент подают сверху.

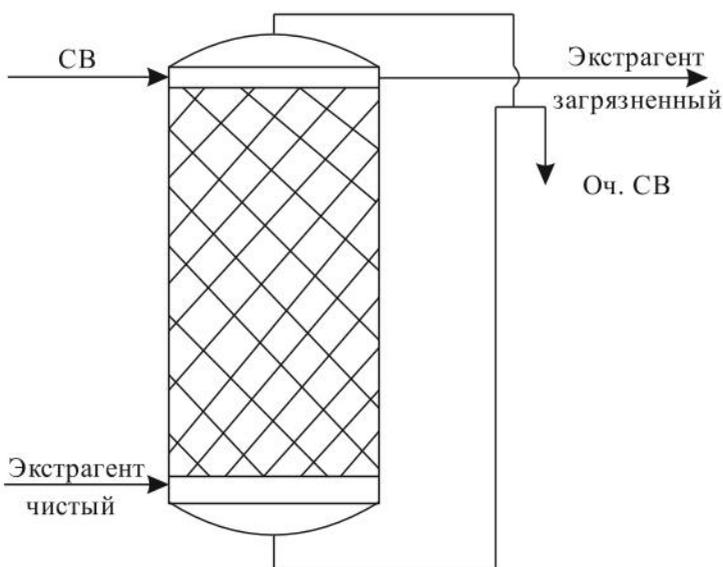


Рисунок 6.26 – Схема непрерывной экстракции с противотоком

Чтобы поддерживать постоянный уровень жидкости, воду выпускают из колонны через сифон, сообщающийся с ее верхней частью.

Поперечное сечение аппарата заполняется специальными перегородками и насадками для лучшего смешения.

Количество экстрагента при непрерывной противоточной экстракции значительно снижается (до 4 раз) по сравнению с периодической экстракцией.

Размеры колонного экстрактора – его высота  $H$ , достаточная для достижения необходимой степени очистки сточных вод, и диаметр  $D$ , обеспечиваю-

щий необходимую производительность, находят графоаналитическим методом по лабораторным исследованиям хода процесса экстракции для каждого растворенного вещества и экстрагента.

При многократной противоточной экстракции (рисунок 6.27) свежий экстрагент вводится в СВ на последнем этапе, когда концентрация загрязнений в воде мала, а загрязненный экстрагент смешивается с исходной сточной водой. Это позволяет более полно использовать его экстрагирующую способность.

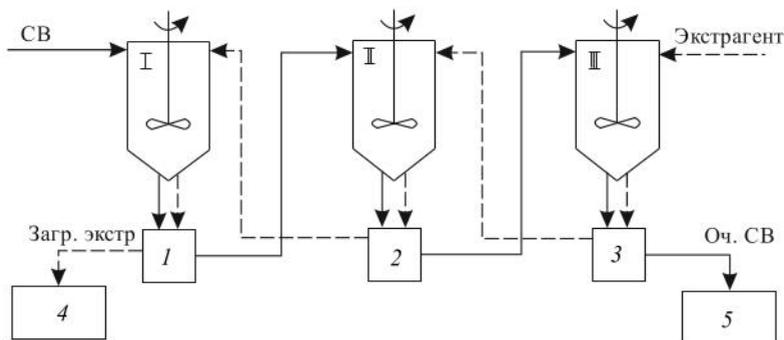


Рисунок 6.27 – Многократная экстракция с противотоком:  
 I, II, III – экстракторы; 1, 2, 3 – отстойники; 4 – сборник загрязненного экстрагента;  
 5 – сборник очищенной воды

**Эвапорация.** Основана на нагревании сточных вод до 93–99 °С и пропускании через нее перегретого насыщенного пара, который увлекает из сточных вод летучие примеси: фенол и аммиак. Далее пар попадает в регенерационные колонны. Его пропускают через нагретый до 100 °С поглотитель, в котором из пара удаляются загрязнения, а пар вновь направляется на очистку сточных вод.

Процесс осуществляется по методу противотока.

Эвапорационная колонна имеет диаметр  $D = 0,8 \dots 3$  м; высоту  $H = 6 \dots 12$  м. Плотность орошения –  $3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ . Расход пара – 0,5–1,5 кг/кг сточных вод.

Схема эвапорационной очистки СВ представлена на рисунке 6.28.

**Ионный обмен.** Применяется для очистки производственных сточных вод, отличающихся повышенной активностью, токсичностью загрязняющих веществ (циан, ртуть, мышьяк, хром, никель, фосфор, цинк, медь, свинец, ПАВ, радиоактивные вещества, формальдегид, фенол и др.).

Очистку производят с помощью синтетических ионообменных смол, выпускаемых в виде гранул диаметром 0,2–2 мм. Это практически нерастворимые в воде полимерные вещества, имеющие подвижный ион, способный в определенных условиях вступать в реакцию обмена с ионами того же знака, находящимися в растворе.



Продолжительность регенерации катионита  $t_2 = 25$  мин.

3 Отмывка ионита осуществляется обычно водопроводной водой ( $q_{уд} = 4 \text{ м}^3$  на  $1 \text{ м}^3$  катионита,  $t_3 = 50$  мин). Вода собирается в емкость 9.

Для взрыхления ионитов используют отмывочную воду. Отмывку производят обессоленной водой. Первые порции отмывочной воды используют для приготовления регенерирующих растворов, последующие – для взрыхления. Регенерация осуществляется раствором соли или кислотой.

Содержание взвешенных веществ и ХПК в очищаемой воде не должно превышать  $8 \text{ мг/дм}^3$ .

Ионный способ очистки оборотной воды от тяжелых металлов обеспечивает высокий (до 100 %) эффект очистки от ионов цинка, меди, никеля. Рабочий цикл осуществляется до момента появления в фильтрате ионов удаляемого металла сверх допустимых пределов, после чего производится регенерация загрузки ионита. Содержание солей контролируется.

Способы извлечения загрязнений из сточных вод, применяемые для очистки сточных вод в зависимости от удаляемого вещества, представлены в таблице 6.11.

**Таблица 6.11 – Способы удаления загрязнений из сточных вод в зависимости от исходного вещества**

Загрязняющее вещество	Способ удаления из сточной воды
ПАВ	Биохимическое окисление, сорбция, пенное фракционирование, коагуляция, выпаривание, ультрафильтрация, озонирование, флотация. Для очистки сточных вод до норм ПДК обычно используется комплекс методов, конечной стадией которого является биологическая очистка. Для удаления небольших количеств ПАВ из сточных вод (не более $100\text{--}200 \text{ мг/дм}^3$ ) применяется адсорбционная очистка на активированных углях. Получение воды требуемого качества и повторное использование ПАВ после регенерации позволяет применять ионообменные смолы
Фенолы	Озонирование. Фенолсодержащие сточные воды дополнительно очищаются на биологических очистных сооружениях. Доочистка производится в аэротенках и на биофильтрах по одно- и двухступенчатым схемам. Степень биологической очистки воды от фенолов достигает 99,9 %
Кремний	Осаждение известью; сорбция гидроксидами железа, алюминия, оксидом или гидроксидом магния; фильтрование через магнезиальный сорбент; ионный обмен и электрокоагуляция
Селен	Сорбция на свежобразованном гидроксиде железа (III)

Окончание таблицы 6.11

Загрязняющее вещество	Способ удаления из сточной воды
Стронций	Сорбция на свежееобразованном гидроксиде железа (III)
Минерализация	При общем солесодержании воды до 1,5–2 г/дм <sup>3</sup> рекомендуется применять ионообменный метод, 1,5–15 г/дм <sup>3</sup> – электродиализ или обратный осмос, более 10 г/дм <sup>3</sup> – дистилляцию и до 40 г/дм <sup>3</sup> обратный осмос
Фосфор	Аэротенки с продленной аэрацией – удаление фосфора – 10 %. Аэротенки со средними нагрузками на ил (200–500 мг БПК <sub>5</sub> на 1 г беззольного вещества в сутки) 20–40 %. Высоконагружаемые аэротенки 70–80 %. Биофильтры 5–20 %. Реагентная обработка солями кальция, алюминия, железа
Мышьяк	Осаждение с гидроксидом железа (III), например, при обработке воды хлоридом или сульфатом железа (III) с подщелачиванием и продувкой воздухом. Органические соединения мышьяка таким образом удаляются труднее, поэтому их предварительно рекомендуется окислять хлором

Вещества, которые удаляются из сточных вод в зависимости от способа очистки, представлены в таблице 6.12.

Таблица 6.12 – Удаляемые вещества при различных способах очистки

Способ удаления из сточной воды	Загрязняющее вещество
Электрохимическое окисление (электролиз)	Фенолы, цианиды, нитросоединения, сульфаты, спирты, красители, толуол
Электрокоагуляция	Для интенсификации процесса очистки сточных вод от хрома и др. ионов тяжелых металлов, жиров, эмульгированных нефтепродуктов и мелких взвешенных веществ
Флотация	Очистка производственных сточных вод от жиров, масел, смол, синтетических поверхностно-активных веществ (ПАВ) асбеста, шерсти, нефтепродукты
Сорбционная очистка	Сточные воды, загрязненные ароматическими соединениями, слабыми электролитами или неэлектролитами, красителями, непредельными соединениями, гидрофобными алифатическими соединениями. Нитропродукты, ионы тяжелых металлов, нефтепродукты
Экстракция	Фенолы, жирные кислоты, нитропродукты
Эвапорация	Фенол и аммиак

Окончание таблицы 6.12

Способ удаления из сточной воды	Загрязняющее вещество
Ионный обмен	Циан, ртуть, мышьяк, хром, никель, фосфор, цинк, медь, свинец, ПАВ, радиоактивные вещества, фенол, формальдегид, обессоливание, азот
Озонирование	Цианиды, сульфиды, нефтепродукты, фенол, тетраэтилсвинец, СПАВ, органические растворители и красители, ионы тяжелых металлов

Таким образом, если скомпоновать специфику загрязнений в сточных водах и вариации их удаления, можно подобрать наиболее рациональный способ очистки производственных сточных вод. Также при выборе необходимо учитывать и количество поступающих на очистку сточных вод и ряд других факторов, которые позволят более полно составить технико-экономическое обоснование.

## 7 ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

### 7.1 Классификация химических методов очистки воды

К методам химической очистки относятся: окисление, нейтрализация (подщелачивание) и подкисление.

Для окисления используют сильные окислители: хлор ( $\text{Cl}$ ), перманганат калия ( $\text{KMnO}_4$ ), озон ( $\text{O}_3$ ). Кроме этого, применяют гипохлорит кальция и натрия, хлорную известь, диоксид хлора, озон, кислород, а также пероксид водорода, оксид марганца, бихромат калия.

Для подщелачивания – известь, гидроксид натрия, соду.

Для подкисления – серную и соляную кислоты.

В ряде случаев химическая обработка требуется в качестве предварительной перед последующей биологической очисткой сточных вод. Может обеспечивать глубокую очистку производственных СВ для их дезинфекции, обезцвечивания и извлечения из них различных компонентов (рисунок 7.1).

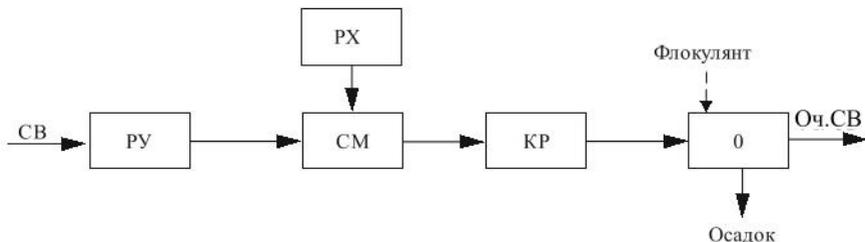


Рисунок 7.1 – Принципиальная схема химической очистки СВ с осаждением продуктов реакции:

РУ – резервуар-усреднитель; СМ – смеситель; РХ – реагентное хозяйство;  
КР – контактный резервуар; О – отстойник

### 7.2 Окисление

Химическое окисление применяют тогда, когда нельзя или нецелесообразно извлечь или разрушить загрязнения СВ другими способами. Например, для обезвреживания ПСВ, содержащих токсичные примеси (цианиды, комплексные цианиды меди и цинка), а также такие соединения, как сероводород, сульфиды.

*Окисление активным хлором.* Наиболее распространенным окислителем является хлор и его соединения. Например, с использованием активного хлора осуществляется обезвреживание цианосодержащих сточных вод гальванических цехов на машиностроительных и металлообрабатывающих заводах. Для этого применяют гипохлорит натрия  $\text{NaOCl}$  или кальция  $\text{Ca(OCl)}_2$ . Концентрация раствора реагента – 5 % по активному хлору.

Хлорирование применяется также для дезодорации СВ, образующихся при варке сульфатной целлюлозы и при выпаривании черного щелока в целлюлозно-бумажной промышленности. Эти СВ содержат сероводород, метилмеркаптан и др.

*Окисление кислородом воздуха.* Применяется для окисления сульфидных СВ целлюлозно-бумажных, нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов. Реакция идет в жидкой фазе при повышенных температуре и давлении.

Конечными продуктами процесса могут быть элементарные сера и сероводород, который может служить сырьем для получения серной кислоты.

Принципиальная схема по окислению сульфидов, содержащихся в сточных водах, кислородом воздуха представлена на рисунке 7.2.

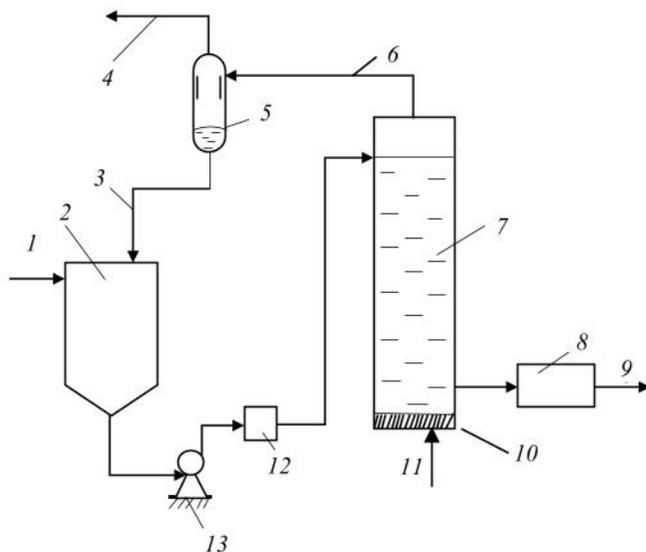


Рисунок 7.2 – Принципиальная схема установки по окислению сульфидов, содержащихся в сточных водах, кислородом воздуха:

1 – подача сточной воды; 2 – приемный резервуар; 3, 4, 6 – выпуск соответственно конденсата, отработанного воздуха и увлажненного отработанного воздуха; 5 – сепаратор; 7 – окислительная колонна; 8 – холодильник; 9 – выпуск обработанных сточных вод; 10 – воздухораспределительное устройство; 11 – подача воздуха; 12 – теплообменник; 13 – насос

*Озонирование сточных вод.* Озон является сильным окислителем, применяется для глубокой очистки сточных вод с целью их повторного использования. Достоинства:

- высокая реакционная способность озона вступать во взаимодействие со многими минеральными и органическими соединениями;
- сильное окислительное действие;
- возможность получения его прямо на станции из кислорода воздуха;
- не приводит к увеличению солевого состава очищенной воды;
- не загрязняет воду продуктами реакции и другими примесями. Это важно при повторном использовании воды для технологических нужд.

Недостатки: получение озона очень энергоемко и дорого.

Озон вступает в реакцию со многими минеральными и органическими соединениями (ПАВ, нефть, фенолы и т. д.). Он чрезвычайно коррозионен и токсичен, поэтому трубопроводы и оборудование, с которыми он контактирует, выполняют из нержавеющей стали и алюминия, а в помещении, где находятся люди, концентрация озона должна быть не более  $0,0001 \text{ мг/дм}^3$ .

Окислительное действие озона объясняется легкостью отдачи им атома кислорода. Под действием озона почти все металлы переходят в оксиды. В процессе обработки сточной воды озон, подаваемый в реактор в виде озono-воздушной смеси, диспергированной на мельчайшие пузырьки, вступает в химические реакции. Озонирование представляет собой процесс абсорбции, осложненный химической реакцией в жидкой фазе.

Основной способ получения озона – синтез его из воздуха под воздействием «тихого» электрического разряда при напряжении 10–20 кВ в специальных генераторах озона (рисунок 7.3). Принципиальная схема озонирования включает:

- блок получения озона;
- блок насыщения сточных вод озоном.

Основная часть установки – генератор озона. Он состоит из корпуса, в котором расположены трубчатые озонирующие элементы из концентрически расположенных стеклянных электродов со специальным токопроводящим покрытием – электродом высокого напряжения.

Кислород или воздух охлаждается в теплообменниках до  $6 \text{ }^\circ\text{C}$  и, попадая во влагоотделитель, частично освобождается от капельной влаги. На выходе из влагоотделителя установлен войлочный фильтр. Для устойчивой работы озонатора предусматривается осушительная установка, которая обеспечивает осушку газа перед озонаторами до содержания влаги  $0,05\text{--}0,1 \text{ г/м}^3$ .

Охлажденный, обеспыленный и освобожденный от влаги воздух поступает в генератор озона, где под действием электрических разрядов в кольцевом пространстве между концентрически расположенными электродами образуется озон. Концентрация озона в озono-воздушной смеси – 12–17 %.

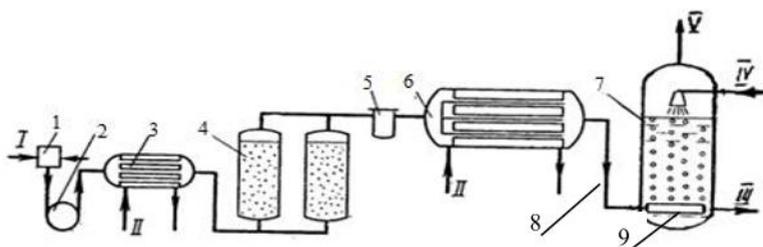


Рисунок 7.3 – Схема озонаторной установки:

1 – воздушный фильтр; 2 – воздуходувка; 3 – теплообменник; 4 – адсорберы; 5 – пылевой фильтр; 6 – генератор озона; 7 – барботажная колонна; 8 – озono-воздушная смесь; 9 – пористый фильтр; I – воздух; II – охлаждающая вода; III – выход очищенной воды; IV – вода на очистку; V – выход отработанного газа

Контакт сточных вод и озона осуществляется в специальных барботажных колоннах. Время контакта  $t = 15 \dots 30$  минут, высота слоя воды над распылителем:  $H = 4,5 \dots 5$  м для одноступенчатых и  $H = 2,5 \dots 2,8$  м для двухступенчатых реакторов, расход озона, г/г загрязнений:  $\alpha = 3$  г/г – нефтепродукты,  $\alpha = 3,5$  г/г – ПАВ.

Введение озono-воздушной смеси в обрабатываемую воду осуществляется:

- барботированием ее через слой воды с применением распыливающих элементов: фильтросов, металлокерамических труб и т. п.;
- противоточной абсорбцией в абсорберах с различными насадками (кольцами Рашига, хордовой насадкой и др.);
- с помощью эжекторов и специальных механических смесителей. С целью более полного использования озона применяют многоступенчатое (многократное) озонирование (рисунки 7.4, 7.5).

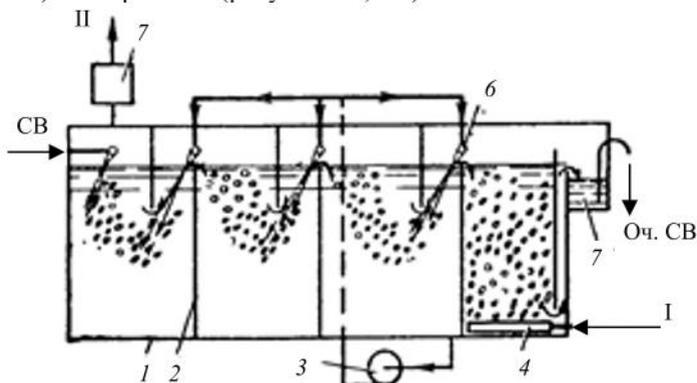


Рисунок 7.4 – Струйный смеситель в работающих реакторах:

1 – резервуар; 2 – перегородки; 3 – рециркуляционный насос; 4 – пористый распылитель; 5 – водосборный карман; 6 – сопло; 7 – пеноотделитель; I – озонированный воздух; II – отработанный воздух

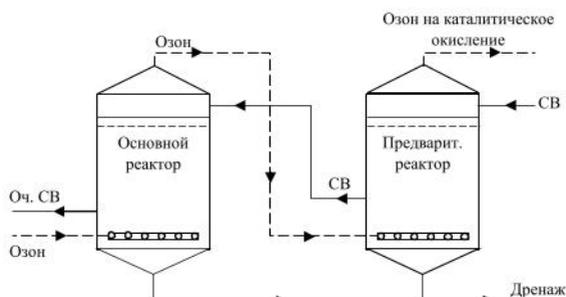


Рисунок 7.5 – Схема озонирования при двух последовательно расположенных реакторах

### 7.3 Нейтрализация сточных вод

Производственные сточные воды многих отраслей промышленности содержат кислоты и щелочи. Интенсивность кислотной или щелочной реакции воды определяется показателем концентрации водородных ионов – значением рН. Для предупреждения коррозии материалов канализационных сооружений и нарушения биохимических процессов, происходящих в очистных сооружениях и в водных объектах, такие воды подвергаются нейтрализации. Нейтрализация нередко производится также в целях осаждения из сточных вод солей тяжелых металлов. Во всех случаях учитывают возможность взаимной нейтрализации кислот и щелочей, сбрасываемых со сточными водами, а также щелочной резерв бытовых сточных вод и нейтрализующую способность воды водных объектов.

Практически нейтральной принято считать смесь с величиной рН в пределах 6,5–8,5, поэтому сточные воды, рН которых ниже 6,5 или выше 8,5, перед отведением в городскую канализацию или в водный объект подлежат нейтрализации.

Процесс нейтрализации осуществляется в нейтрализаторах проточного или контактного типа, которые могут конструктивно объединяться с отстойниками. Выбор способа осветления производится на основе технико-экономических расчетов.

Нейтрализация производится методами:

- смешения;
- реагентным;
- фильтрации.

*Нейтрализация методом смешения.* Чаще всего с учетом технологических особенностей кислотные сточные воды отводятся непрерывно, а щелочные – периодически (1–2 раза в смену). Поэтому для щелочных сточных вод устанавливают регулирующий резервуар (на суточный объем сточных вод),

откуда равномерно выпускают их в контактный резервуар для смешения с кислотными сточными водами и взаимной нейтрализации.

В общем случае, когда концентрация кислоты и щелочи в СВ меняется, используют схему с двумя усреднителями (рисунок 7.6).

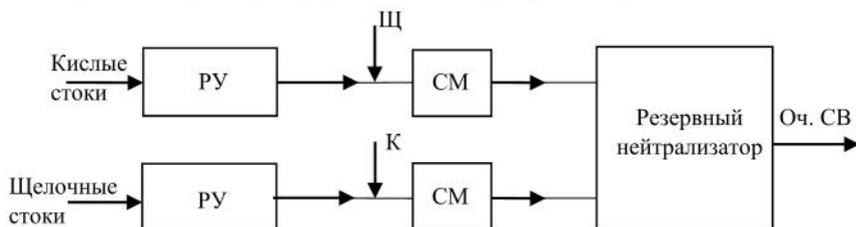


Рисунок 7.6 – Схема нейтрализации методом смешения

Дозирование кислоты и щелочи контролируется с помощью рН-метра.

*Нейтрализация реагентным способом.* Для взаимной нейтрализации на промышленных предприятиях может не хватать содержащейся в сточных водах кислоты или щелочи, или вообще имеются только кислотные или щелочные сточные воды. В этом случае нейтрализация производится реагентным способом.

Нейтрализация кислот может проводиться любыми щелочами или солями, образованными сильным основанием и слабой кислотой (KOH, NaOH, известью, известняком, доломитом, мрамором, мелом, магнезитом, содой, отходами щелочей и т. п.). На производстве наиболее доступно и дешево использовать гидроксид кальция (гашеная известь  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ).

Для нейтрализации любых щелочей применяются соляная, азотная, фосфорная и другие кислоты.

Для нейтрализации минеральных кислот применяют любой щелочной реагент, дающий в растворе гидроксид-ионы  $\text{OH}^-$ . Наиболее дешевыми реагентами являются  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (в виде негашеной извести или известкового молока), а также карбонаты кальция и магния (в виде дробленого мела, известняка и доломита). Гидроксид натрия и соду применяют только в тех случаях, когда эти реагенты являются отходами местного производства.

В качестве реагентов для нейтрализации органических жирных кислот применяют известь, содержащую не менее 25–30 % активного оксида кальция, или смесь извести с 25%-й технической аммиачной водой ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ). Добавление аммиака способствует последующей биологической очистке этих вод и снижает содержание известкового шлама.

Схема нейтрализации кислых сточных вод реагентным способом представлена на рисунке 7.7.

При нейтрализации образуется значительное количество осадка – 10–30 % от объема сточных вод. Влажность осадка  $p = 98 \dots 99$  %. Для его обработки применяют вакуум-фильтры, центрифуги.

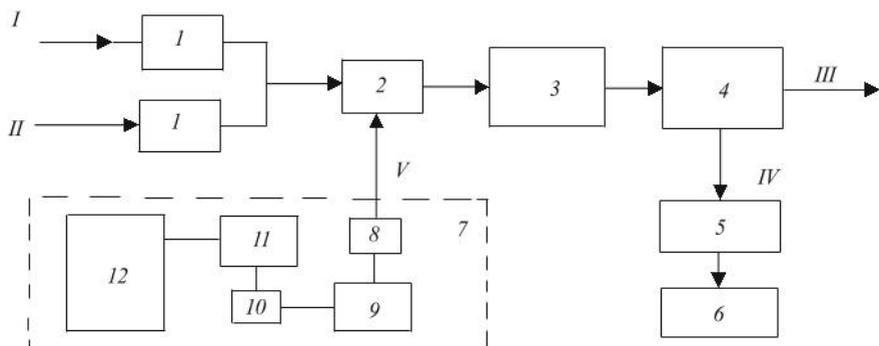


Рисунок 7.7 – Схема нейтрализации кислых сточных вод реagentным способом: 1 – усреднитель; 2 – смеситель; 3 – контактный резервуар-нейтрализатор; 4 – отстойник; 5 – сооружение для обезвоживания осадка; 6 – накопитель обезвоженных осадков; 7 – реagentное хозяйство; 8 – дозаторы; 9 – растворные баки; 10 – насос; 11 – устройство для растворения реagentа; 12 – склад реagentов; I, II – подача кислых и щелочных сточных вод; III – выпуск нейтрализованной сточной воды; IV – выпуск осадка; V – подача реagentа

*Нейтрализация методом фильтрации.* Применяется при небольших расходах сточных вод. Осуществляется пропуском сточных вод через фильтрационную загрузку, состоящую из кусков мела, известняка, доломита, мрамора. Крупность загрузки 1–3 (до 8) см. Принимается скорость фильтрации 3–8 м/ч, плотность фильтрующей загрузки  $\rho_{\text{ф}} = 2,8 \text{ т/м}^3$ .

Суточный расход материала: теоретический (расчетный) –  $M_{\text{т}}$  и фактический  $M_{\text{ф}} > M_{\text{т}}$ , т. к. невозможно использовать его 100 %, то  $M_{\text{ф}} = 1,5 M_{\text{т}}$ . Продолжительность контакта с загрузкой  $\geq 10$  мин.

В процессе работы фильтра крупность материала уменьшается. Через некоторое время загрузка заменяется. Для облегчения этого процесса загрузка устанавливается в специальных кассетах.

Фильтры бывают *вертикальные* и *горизонтальные*.

В вертикальных фильтрах (рисунок 7.8, а) фильтрация происходит сверху вниз.

В горизонтальных фильтрах-нейтрализаторах сточных вод (рисунок 7.8, б) в фильтрующем слое движется в горизонтальной плоскости. Принимается диаметр зерен загрузки  $d = 3 \dots 5$  см, скорость фильтрации  $v = 0,01 \dots 0,03$  м/с, высота фильтрующего материала  $H = 0,5 \dots 1$  м.

Нейтрализация методом фильтрации применяется чаще всего для сильных неорганических кислот – соляной и азотной ( $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ ), которые дают хорошо растворимые в воде соли. Для нейтрализации серной кислоты ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) такие фильтры применимы при средней концентрации кислоты  $C_{\text{ср}} \leq 5 \text{ г/дм}^3$ , т. к. при большей концентрации  $C_{\text{ср}}$  происходит отложение гипса ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) в загрузке и уменьшение фильтрующей способности фильтра.

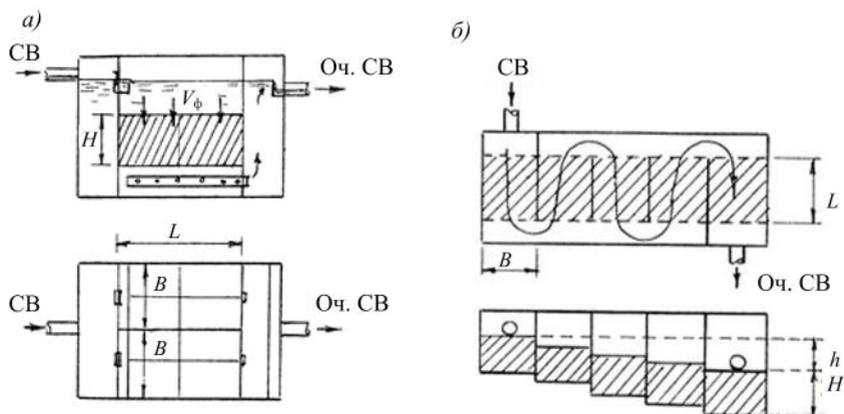


Рисунок 7.8 – Схемы фильтра-нейтрализатора:  
а – вертикального; б – горизонтального

**Обезвреживание шестивалентного хрома.** Кроме цианидов СВ цехов гальванопокрытий содержат  $\text{Cr}^{6+}$ , кислоты и щелочи. Поэтому схема очистки СВ гальванических цехов (рисунок 7.9) включает три основных блока: для обезвреживания цианосодержащих; хромсодержащих; кислых и щелочных сточных вод.

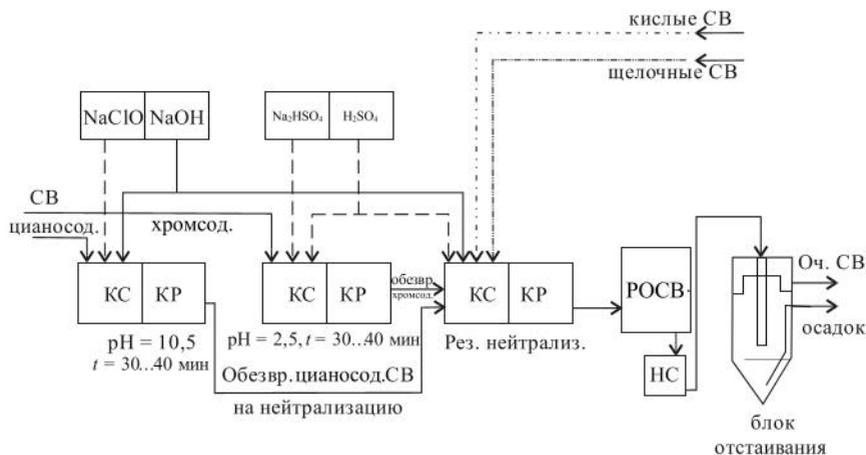
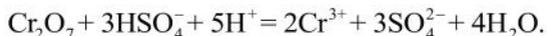


Рисунок 7.9 – Схема очистки СВ цехов гальванопокрытий:  
КС – камера смешения; КР – камера реакции; РОСВ – резервуар обезвреживания сточных вод; НС – насосная станция

Реакция восстановления ядовитого шестивалентного хрома до трехвалентного

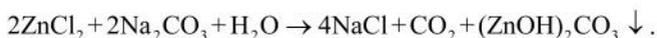


Шестивалентный хром восстанавливается до трехвалентного, а затем в щелочной среде выпадает в осадок



Как отмечалось выше, при обработке кислых вод щелочами, ионы тяжелых металлов, содержащиеся в сточных водах, связываются в труднорастворимые соединения и выпадают в осадок. Состав солей зависит от pH среды. Так, например, при pH = 7 осаждается гидроксид-сульфат цинка состава  $\text{ZnSO}_4 \cdot 3\text{Zn}(\text{OH})_2$ , а при повышении pH до 8,8 состав осадка соответствует формуле  $\text{ZnSO}_4 \cdot 5\text{Zn}(\text{OH})_2$ . В сильнощелочной среде твердая фаза представляет собой в основном гидроксид.

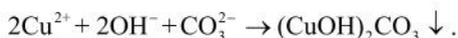
При действии соды на сточные воды, содержащие соли цинка, образуются гидроксид-карбонаты, имеющие малую растворимость



При значениях pH = 7...9,5 образуется основной карбонат состава  $2\text{ZnCO}_3 \cdot 3\text{Zn}(\text{OH})_2$ , начиная с pH = 10, доля гидроксида возрастает. Осаждение гидроксид-карбонатов (основных карбонатов) начинается при более низких значениях pH, чем соответствующих гидроксидов.

Выделение диоксида углерода в результате осаждения содой ведет к тому, что пузырьки газа обволакивают частицы осадка и поднимают их, способствуя флотации части осадка в отстойнике. Поэтому газ необходимо удалять продувкой воздухом по достижении pH = 4,5. К недостаткам данного способа следует отнести относительно высокую стоимость кальцинированной соды и ее дефицитность также, как и едкого натра.

Эффективность высаживания солей меди из сточных вод также может быть увеличена путем образования гидроксид-карбоната

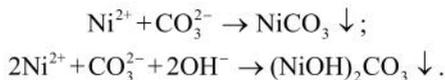


Растворимость гидроксид-карбоната меди ничтожно мала, поэтому наиболее выгодно осаждать медь в виде основного карбоната. Для этого в растворе очищаемой воды необходимо иметь одновременно как гидроксидные, так и карбонатные ионы. Следовательно, применение для осаждения меди только щелочей или извести высшего сорта нецелесообразно. Лучшим реагентом для очистки сточных вод от ионов меди является известь III сорта, содержащая «недожог» ( $\text{CaCO}_3$ ).

Для удаления из сточных вод меди и кадмия разработан процесс контактирования их с диоксидом серы или сульфитами и порошкообразными металлами, например, цинком или железом. При этом металлы восстанавливают сульфиты до сульфидов, которые с тяжелыми металлами образуют

труднорастворимые сульфиды. Высокая степень очистки достигается при  $\text{pH} = 2$  и температуре сточных вод  $50^\circ\text{C}$ .

Очистка сточных вод от никеля в результате нейтрализации помимо образования гидроксидов возможна и при осаждении в виде карбонатов и гидроксид-карбонатов



Растворимость гидроксид-карбоната никеля практически равна нулю, поэтому для наиболее полного удаления никеля следует также, как и для меди, применять известь III сорта, содержащую  $\text{CaCO}_3$ .

Концентрации ионов кобальта и кадмия в сточных водах обычно чрезвычайно малы по сравнению с содержанием катионов других тяжелых металлов. Произведения растворимости гидроксидов этих металлов малы,  $\text{pH}$  среды при выпадении их гидроксидов в осадок соответственно равен  $6,7-7,7$  и  $7,2-8,2$ . Поэтому при обработке сточных вод известковым молоком они могут быть максимально очищены от растворенных солей кобальта и кадмия.

Для повышения степени очистки сточных вод, содержащих тяжелые металлы, рекомендуется после осаждения их гидроксидов известью при  $\text{pH} = 8,5$  и отделения осадка вводить в осветленную сточную воду раствор  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  в количестве в  $5-30$  раз превышающем стехиометрическую норму. После отделения осадка сточная вода с небольшим содержанием ионов тяжелых металлов может быть возвращена в систему оборотного водоснабжения.

Обработка сточных вод щелочными реагентами позволяет снизить содержание тяжелых металлов в растворе до величин, сопоставимых с ПДК для водных объектов. Более глубокая очистка от тяжелых металлов достигается при обработке сточных вод сульфидом натрия.

## **8 ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД**

### **8.1 Общие принципы применения биологических методов для очистки производственных сточных вод**

Наибольшие трудности при очистке бытовых и производственных сточных вод связаны с удалением из них тонкодисперсных и растворенных органических веществ. Для извлечения таких примесей используются биохимические процессы, осуществляемые комплексом различных видов микроорганизмов, способных адаптироваться (приспосабливаться) к колониям среды, т. е. к составу воды и концентрации в ней загрязнений, а также к температуре и активной реакции воды.

Биологическая очистка сточных вод основана на способности микроорганизмов использовать для питания находящиеся в сточных водах органические вещества (кислоты, спирты, белки, углеводы и т. д.), которые являются для них источником углерода. Необходимые для жизнедеятельности микроорганизмов азот, фосфор, калий они получают из различных соединений: азот – из аммиака, нитратов, аминокислот и др. (некоторые микроорганизмы – азотобактерии – могут использовать азот из воздуха); фосфор и калий – из минеральных солей этих веществ. В процессе питания микроорганизмов происходит прирост их массы.

Процесс биологической очистки условно разделяют на три стадии (протекающие одновременно, но с различной скоростью):

- адсорбция из сточных вод тонкодисперсной и растворенной примеси органических и неорганических веществ поверхностью тела микроорганизмов;
- диффузное перемещение через клеточную оболочку либо самого вещества, либо продуктов его гидролиза;
- разрушение адсорбированных веществ внутри клетки микроорганизмов при протекающих в ней биохимических процессах (окислении, восстановлении).

Эти стадии наблюдаются как в аэробных, так и в анаэробных условиях. Соответственно и микроорганизмы разделяются на две группы: аэробные и анаэробные.

Суммарное количество органических веществ, которое может быть изъято и разрушено комплексом микроорганизмов, зависит в основном от биомассы этого комплекса. Скорость же изъятия веществ и их окисления зависит от структуры веществ и их концентрации, их сочетания в очищаемых водах и

способности взаимодействовать, от степени их токсичности и т. д. Эффективность удаления загрязняющих веществ на сооружениях очистки сточных вод, перечень загрязняющих веществ в сточных водах, удаляемых в процессе биологической очистки и эффективность их удаления на сооружениях, перечень загрязняющих веществ, не удаляемых в процессе биологической очистки, представлены в приложении В.

Биохимическому окислению могут подвергаться и некоторые минеральные вещества: например, сероводород с помощью серобактерий окисляется до элементарной серы и серной кислоты; аммиак окисляется до азотистой и азотной кислоты (нитрификация).

Прирост биомассы зависит от соотношения между количеством органических веществ, поддающихся биохимическому распаду, выраженным БПК, и общим количеством органических веществ, содержащихся в очищаемых сточных водах, выраженным ХПК. Чем больше величина этого соотношения, тем выше прирост биомассы. В производственных сточных водах соотношение БПК и ХПК колеблется в пределах от 0 до 0,9.

Зависимость между приростом биомассы и отношением БПК/ХПК необходимо учитывать при выборе типа биоокислителя. Очевидно, что для очистки сточных вод с большой ХПК и малой БПК нельзя применять биофильтры обычной конструкции с мелко- и даже крупнозернистым грузочным материалом, так как будет неизбежным их заиливание биопленкой и нарушение нормальной работы. В этом случае рекомендуется применять аэротенки.

Прирост биомассы трудно определить расчетом, поэтому его устанавливают экспериментально при изучении сточных вод и выяснении возможных, наиболее эффективных методов их очистки или принимают по данным эксплуатации очистных сооружений для аналогичных сточных вод. При ориентировочных расчетах можно пользоваться (по данным ВНИИ ВОДГЕО) уравнением

$$P = K (\text{ХПК} - \text{БПК}_5),$$

где  $P$  – прирост биомассы активного ила в аэротенках, рассчитанных на полную очистку;

$K$  – коэффициент пропорциональности, характеризующий количество ила; для промышленных сточных вод  $K = 0,1 \dots 0,9$ .

Прирост активного ила в аэротенках может быть также вычислен по формуле

$$P = 0,8C_{\text{ВВ}}^{\text{нач}} + k \cdot C_{\text{БПК}}^{\text{нач}},$$

где  $k$  – коэффициент прироста, для городских и близких к ним по составу производственных сточных вод равен 0,3, при использовании окситенков – 0,25.

Теоретические расчеты технологического процесса биологической очистки производственных сточных вод осложняются большим разнообразием их состава не только в различных отраслях промышленности, но и на предприятиях одной и той же отрасли. В производственных сточных водах наряду с трудноокисляющимися веществами нередко встречаются и токсичные. Попадая в биологические окислители, эти вещества могут снижать скорость процесса или совсем его останавливать, что нарушает нормальную работу очистных сооружений, снижает полноту очистки и повышает ее стоимость [84, 85].

Влияние токсичных веществ значительно ослабляется при применении биологических окислителей, обеспечивающих высокую интенсивность процесса окисления. Допустимая концентрация токсичных веществ, при которой возможно их биологическое окисление, зависит от природы этих веществ (таблица 8.1).

**Таблица 8.1 – Допустимые концентрации токсичных веществ, при которых возможно их биологическое окисление**

Вещество	Допустимая концентрация, мг/дм <sup>3</sup>	Вещество	Допустимая концентрация, мг/дм <sup>3</sup>
Ацетон	4	Спирты: – амиловый – метиловый	100 5000
Бензол	100		
Глицерин	5	Красители: – диазо синий – конго красный – прямой коричневый – прямой черный Фенол	120 25 60 60 1000
Жироподобные вещества	100		
Кислоты: – бензойная	150		
– масляная	500		
– стеариновая	300		
Ксилол	7	Толуол	7
Нефтепродукты	100	Формальдегид	160
Сульфиды	20	Циан	0,1

В тех случаях, когда сточные воды содержат несколько видов токсичных веществ, расчет сооружений ведется по наиболее сильнодействующему из них; при этом допустимая концентрация остальных уменьшается примерно на 50 % приведенного в таблице 8.1 количества, а при наличии в сточных водах солей тяжелых металлов – на 70 %.

О возможности очистки производственных сточных вод судят по многим показателям качественной и количественной их характеристики. Основными из них являются:

- способность органических веществ сточных вод биохимически окисляться. Эта способность определяется по соотношению БПК и ХПК;
- концентрация загрязняющих веществ;

- наличие в сточных водах необходимых для микроорганизмов питательных веществ (азота, фосфора, калия);
- наличие и концентрация веществ, способных оказывать токсическое воздействие на микроорганизмы;
- активная реакция сточных вод.

Многие виды производственных сточных вод лишь в какой-то мере удовлетворяют всем перечисленным требованиям биологической очистки и нуждаются в предварительной подготовке к ней:

- сульфатные и сульфитные щелоки предприятий целлюлозно-бумажной промышленности имеют резко кислую реакцию и весьма высокую концентрацию органических веществ;

- сточные воды фабрик искусственного волокна, отработавшие воды цехов гальванопокрытий, травильных ванн и др., содержат недопустимые количества токсичных веществ;

- сточные воды коксохимических заводов, хотя и содержат легко окисляющиеся вещества, но в них почти полностью отсутствуют соединения азота, фосфора и калия, являющиеся биогенными веществами, необходимыми для обеспечения нормальной жизнедеятельности микронаселения биологических окислителей. В этом случае приходится или искусственно вводить эти элементы, или добавлять к производственным водам бытовые сточные воды (недостающие биогенные элементы вводятся в виде растворов аммиачной селитры, суперфосфата, азотнокислого калия или других соединений соответствующего состава; комбинированными смесями являются диаммонийфосфат и фосфорнокислый калий; приготовление и дозирование питательных растворов производится так же, как и при коагуляции, нейтрализации или дезинфекции сточных вод);

- отрицательное влияние на ход биологических процессов оказывает наличие в сточных водах нерастворенных примесей, особенно таких как нефть, масла, смолы и др. Остаточное количество взвешенных веществ не должно превышать  $150 \text{ мг/дм}^3$  независимо от химической природы примесей;

- ограничивается также концентрация растворенных солей: общее их количество не должно превышать  $10 \text{ г/дм}^3$ .

*Особенности биологической очистки производственных сточных вод:*

- сложность и непостоянство их состава. Эту особенность необходимо учитывать при выборе типа окислителей и технологической схемы их работы. Так, например, при очистке воды с резкими колебаниями их состава необходимо иметь в виду возможность периодических нарушений нормальной жизнедеятельности микроорганизмов-минерализаторов и снижение эффективности биологической очистки. Поэтому следует предусматривать возможность регулирования нагрузки (по загрязняющим веществам) на очистные сооружения, которая должна соответствовать изменившемуся со-

ставу сточных вод, а также меры по восстановлению жизнедеятельности микроорганизмов. В зависимости от местных условий эти требования выполняются различным образом. В одних случаях устраивают регулирующие емкости, рассчитанные на прием избыточного (против проектного) количества воды с последующим сбросом ее на очистные сооружения; в других – повышают предварительную очистку сточных вод за счет более длительного их отстаивания, коагуляции повышенными дозами коагулянта, предварительной аэрации сточных вод и т. п.;

– регулирование количества биомассы и сохранение ее активности. В аэротенках это достигается регенерацией циркулирующего активного ила. Наличие регенераторов в комплексе сооружений очистной станции исключает вероятность выхода из строя на длительный период биоокислителей при попадании в сточную воду каких-либо веществ, оказывающих токсичное действие на микронаселение окислителей;

– наличие загрязняющих веществ, окисляющихся с различной скоростью и требующих для окисления различные количества кислорода. Скорость потребления кислорода зависит от ряда факторов, в том числе от характера загрязнений сточных вод, и пропорциональна биомассе микроорганизмов, осуществляющих окисление. Следует иметь в виду, что даже при одинаковой биомассе скорость может весьма отличаться. Оптимальная концентрация активного ила для производственных сточных вод большинства видов – 2,5–3 г/дм<sup>3</sup>.

Неравномерность режима потребления кислорода в процессе биохимической очистки сточных вод вызывает необходимость подачи воздуха в соответствии с этим режимом. В окислителях с принудительной аэрацией необходимое соответствие достигается путем дифференцированной подачи воздуха и биомассы. Нарушение оптимального соотношения между биомассой и подаваемым количеством воздуха при его недостаточности приводит к ряду крайне нежелательных последствий: снижению активности биомассы, вспуханию активного ила в аэротенках, плохому отделению его в отстойник и повышению его влажности – все это нарушает нормальную работу очистных сооружений и снижает степень очистки сточных вод.

Снабжать биоокислители кислородом воздуха следует непрерывно. Общее его количество, подаваемое в сооружение, должно быть таким, чтобы в выходящей из вторичного отстойника очищенной воде было не менее 2 мг/дм<sup>3</sup> кислорода;

– скорость и полнота процесса биологической очистки зависят от температуры среды, в которой он происходит, поэтому температура сточных вод, поступающих на биофильтры или аэротенки, была не ниже 6 и не выше 40 °С;

– при повышенном содержании в сточных водах трудно оседающих примесей целесообразно предусматривать предварительную аэрацию или биоко-

агуляцию таких вод. Необходимая продолжительность аэрации в обоих случаях 10–20 минут при интенсивности 5–10 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> площади аэратора. Расход воздуха на 1 м<sup>3</sup> аэрируемой жидкости составляет 0,3–0,5 м<sup>3</sup>. Эффект снижения начальной концентрации нерастворенных примесей таким путем удается увеличить на 10–25 %, примерно на столько же снижается количество органических веществ.

## 8.2 Основные термины

**Активный ил** – биоценоз организмов, развивающихся в аэробных условиях на органических загрязнениях, содержащихся в сточной воде. В аэротенках микробная масса пребывает во взвешенном состоянии в виде отдельных хлопьев, которые представлены простейшими и высокоорганизованными представителями фауны – коловратки, черви, личинки насекомых, водные грибы и дрожжи.

**Доза активного ила** – концентрация ила в аэротенке, которая выражается в граммах сухого вещества ила в 1 литре или в 1 м<sup>3</sup> иловой смеси. Доза активного ила в аэрационных сооружениях может колебаться в пределах 3–5 г/дм<sup>3</sup> при продленной аэрации; 3–4 г/дм<sup>3</sup> при низких нагрузках на ил; 2,5–3,5 г/дм<sup>3</sup> при средних и 2–3 г/дм<sup>3</sup> при высоких нагрузках.

**Нагрузка загрязнений на ил** – количество поступающих со сточной водой загрязнений в мг или г загрязнения на 1 г сухого вещества ила в 1 час или 1 сутки.

Если органическая нагрузка  $q$  превышает 0,5 г БПК<sub>5</sub> на 1 г беззольного вещества, то аэротенк считается высоконагруженным; если нагрузка находится в пределах 0,15–0,5 г БПК<sub>5</sub> на 1 г беззольного вещества сухого ила в сутки – средненагруженным, а при  $q$  в пределах 0,065–0,15 г БПК<sub>5</sub> на 1 г беззольного вещества сухого ила в сутки – низконагруженным. При нагрузках менее 0,065 г БПК на 1 г беззольного вещества ила имеет место так называемая продленная аэрация, при которой происходит самоокисление определенного количества активного ила.

**Иловый индекс** – степень осаждаемости активного ила. Разделение активного ила от очищенной воды осуществляется гравитационным путем, при этом активный ил осаждается на дно сооружения, уплотняется и может быть возвращен в аэрационное сооружение. Хорошо оседающий ил имеет иловый индекс от 60–90 до 120–150 мг/дм<sup>3</sup>.

**Вспухание ила** – резкое увеличение илового индекса и повышенный вынос ила с очищенной водой, вызванный перегрузкой или недогрузкой активного ила по загрязнениям.

**Возраст ила** – средняя продолжительность пребывания ила в аэрационном сооружении. Зависит от цели очистки и температуры и обычно составляет 8–12 сут. Возраст ила имеет взаимосвязь с технологическими параметрами (нагрузкой на ил, окислительной мощностью и т. д.)

**Избыточный активный ил** – увеличение массы (прирост) ила в результате жизнедеятельности микроорганизмов, которую необходимо удалять из аэрационного сооружения для поддержания постоянной дозы ила.

**Циркуляционный активный ил** – масса ила, возвращаемая из сооружения илоотделения в аэрационное сооружение.

При определенной длительности пребывания активного ила в системе биологической очистки в нем развиваются нитрифицирующие микроорганизмы, переводящие аммонийный азот  $\text{NH}_3$  в нитриты  $\text{NO}_2$ , а затем в нитраты  $\text{NO}_3$ . Этот процесс получил название *нитрификация*. При прекращении подачи кислорода в иловую смесь нитраты под воздействием микроорганизмов активного ила будут преобразованы в газообразный азот, который улетучится в атмосферу. Такой прием получил название *денитрификация*.

**Зольность активного ила** характеризует содержание минеральных веществ в активном иле, выраженное в процентах или долях единицы.

### 8.3 Основные сооружения биологической очистки

Аэротенки подразделяются на следующие типы:

– аэротенки-вытеснители (рисунок 8.1), в которых ранее поступившая доза ила вытесняется следующей порцией;

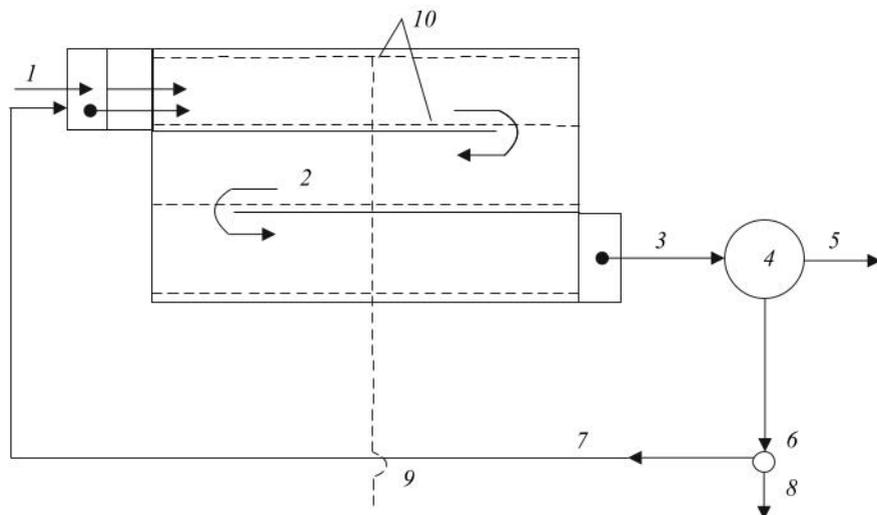


Рисунок 8.1 – Аэротенк-вытеснитель:

1 – подача сточной воды; 2 – аэротенк; 3 – иловая смесь из аэротенков; 4 – вторичный отстойник; 5 – очищенная вода; 6 – иловая камера; 7,8 – циркуляционный и избыточный активный ил; 9 – подача воздуха; 10 – аэрационная система

– аэротенки-смесители (рисунок 8.2), в которых сточная вода и активный ил равномерно распределяются по всему объему сооружения;

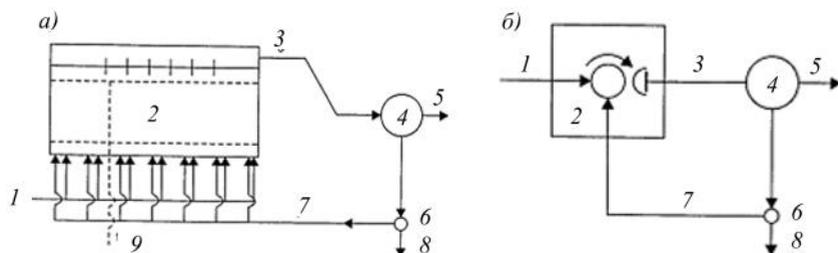


Рисунок 8.2 – Аэротенки-смеситель:

*а* – с рассредоточенным подводом воды и ила вдоль сооружения; *б* – с центральным подводом воды и ила в аэрационную зону; 1 – подача сточной воды; 2 – аэротенки; 3 – иловая смесь из аэротенков; 4 – вторичный отстойник; 5 – очищенная вода; 6 – иловая камера; 7, 8 – циркуляционный и избыточный активный ил; 9 – подача воздуха

– аэротенки с рассредоточенным впуском воды (рисунок 8.3).

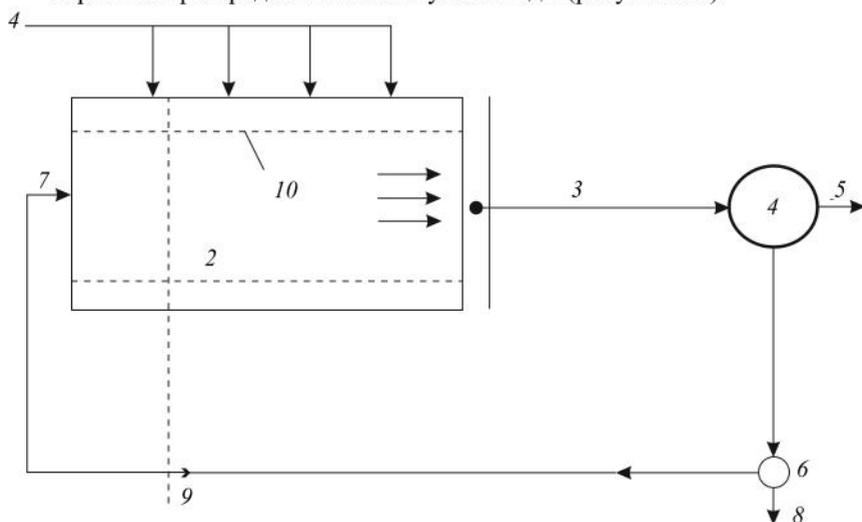


Рисунок 8.3 – Аэротенки с рассредоточенным впуском воды:

1 – подача сточной воды; 2 – аэротенки; 3 – иловая смесь из аэротенков; 4 – вторичный отстойник; 5 – очищенная вода; 6 – иловая камера; 7, 8 – циркуляционный и избыточный активный ил; 9 – подача воздуха; 10 – аэрационная система

Если  $\text{БПК}_5 < 500 \text{ мг/дм}^3$ , применяют обычные аэротенки-вытеснители.

При  $\text{БПК}_5 > 500 \text{ мг/дм}^3$  – аэротенки-смесители.

Для высококонцентрированных СВ (при  $\text{БПК}_5 = 1000 \text{ мг/дм}^3$ ) широко применяют 2-ступенчатые схемы очистки:

- аэротенк I ступени – смеситель;
- аэротенк II ступени – вытеснитель.

При этом I ступень устраивается с регенерацией активного ила; II ступень – без регенерации (рисунок 8.4).

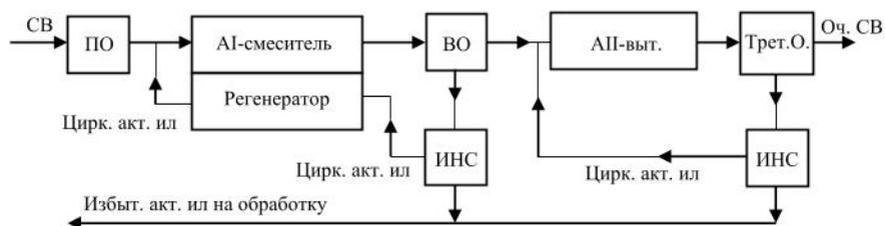


Рисунок 8.4 – Схема двухступенчатой очистки сточных вод в аэротенках

Если БПК<sub>5</sub> в поступающей сточной воде превышает 150 мг/дм<sup>3</sup>, предусматривают устройство регенераторов активного ила. В конструктивном отношении регенераторы ничем не отличаются от аэротенков и могут устраиваться как в виде отдельных сооружений, так и емкостей, выделяемых в объеме аэротенков.

Скорость потребления кислорода в аэротенках выше, чем в регенераторах, поэтому и интенсивность аэрации выше. Однако длительность пребывания ила в регенераторе дольше длительности аэрации в аэротенке. Концентрация ила в регенераторе в 2–2,5 раза больше, чем в аэротенке, так как активный ил направляется сюда из вторичных отстойников без подачи сточной воды. Под регенератор может выделяться один или несколько коридоров аэротенков. Так как типовые аэротенки разработаны в виде 2-, 3-, 4-коридорных, то в них можно обеспечить соответственно 25-, 33-, 50-, 66-, 75%-ю регенерацию.

Для вывода аэротенка в рабочий режим требуется как минимум 2–4 недели.

**Аэротенки-отстойники (в настоящее время в проектировании практически не применяется) [32].** Это комбинированные сооружения, представляющие собой аэротенк, совмещенный с вторичным отстойником. Часть сооружения, в которой осуществляется аэрация иловой смеси, получила название *аэрационной зоны*, другая – *отстойной зоны*. Зоны связаны между собой отверстиями, щелями, окнами и т. д., которые обеспечивают переток иловой смеси из аэрационной зоны в отстойную и его возврат без применения дополнительного оборудования. Примером такого сооружения может служить широко применяющаяся во Франции конструкция «Оксиконтакт» – аэротенки-отстойники с пневматической аэрацией и расположением аэраторов равномерно по площади днища (рисунок 8.5).

Для сравнения на рисунках 8.6 и 8.7 представлены аэротенки-отстойники: радиальный и с механическим поверхностным аэратором.

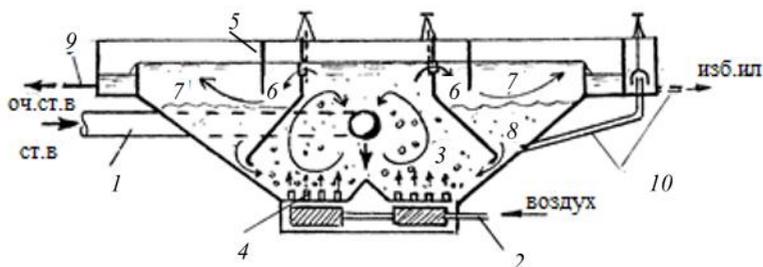


Рисунок 8.5 – Оксиконтакт с пневматическими аэраторами:

- 1 – подача СВ; 2 – подача сжатого воздуха; 3 – зона аэрации; 4 – аэраторы; 5 – перегородка; 6 – дегазатор; 7 – зоны отстаивания; 8 – илоуплотнитель; 9 – выпуск очищенных СВ; 10 – выпуск избыточного ила

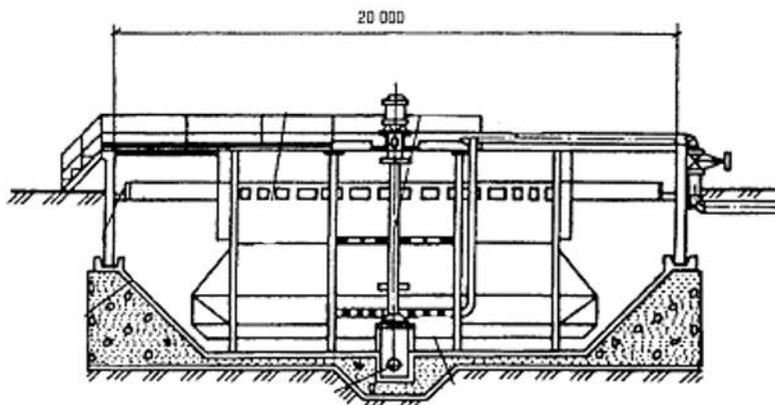


Рисунок 8.6 – Аэротенк-отстойник радиальный

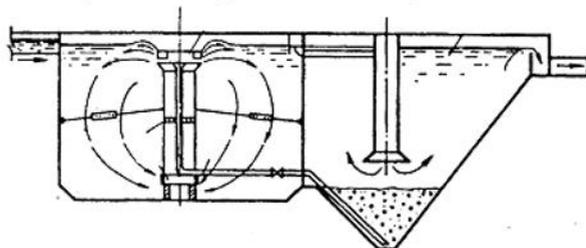


Рисунок 8.7 – Аэротенк-отстойник с механическим поверхностным аэратором

**Аэроакселаторы (в настоящее время в проектировании практически не применяются) [32]** – аэротенки-отстойники с пневмомеханической системой аэрации. От известных аэротенков-отстойников с механической аэрацией они отличаются наличием пневматической аэрации. Это позволяет повысить окислительную мощность сооружений, сократить время биологичес-

кой очистки. Аэроакселераторы бывают с центральным расположением камеры аэрации, периферийным и смежным (рисунок 8.8).

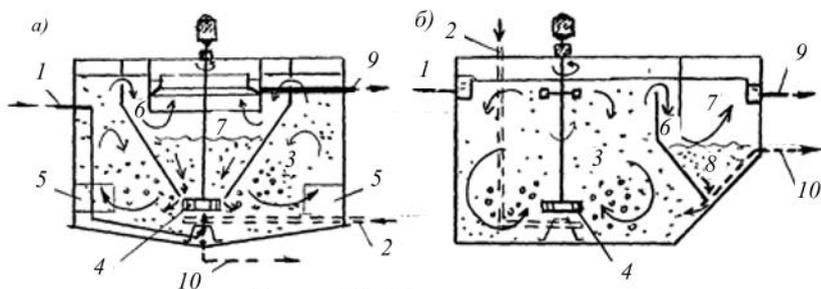


Рисунок 8.8 – Аэроакселераторы:

- а* – с периферийно расположенной камерой аэрации; *б* – со смежно расположенной камерой аэрации; 1 – подача СВ; 2 – подача сжатого воздуха; 3 – зона аэрации; 4 – пневматический аэратор; 5 – отражатели; 6 – дегазатор; 7 – зоны отстаивания; 8 – илоуплотнитель; 9 – выпуск очищенных СВ; 10 – выпуск избыточного ила

Аэроакселераторы применяются в качестве сооружений биологической очистки на очистных станциях производительностью 25–50 тыс. м<sup>3</sup> в сутки и предназначены для очистки бытовых и близких к ним по своему составу невзрывоопасных производственных сточных вод с концентрацией загрязнений по БПК<sub>5</sub> до 300 мг/дм<sup>3</sup>, взвешенным веществам до 150 мг/дм<sup>3</sup>, температурой сточных вод от 6 до 30 °С и рН 6–8,5. Расчетный эффект очистки: по БПК<sub>5</sub> 15–20 мг/дм<sup>3</sup>, по взвешенным веществам 15–20 мг/дм<sup>3</sup>, при нагрузке на активный ил от 0,2 до 1,0 г БПК<sub>5</sub>/г ила в сутки. Процесс окисления загрязнений происходит в зоне аэрации с последующей очисткой воды во взвешенном слое осадка, находящегося в отстойной зоне. Очищенные воды через кольцевой сборный лоток удаляются из сооружения. Пневматическая аэрация обеспечивается подачей воздуха в аэраторы, выполненные из пористых керамических пластин или труб, уложенных по дну аэроакселератора.

Достоинства аэроакселераторов:

- хорошее перемешивание;
- возможность регулирования подачи воздуха;
- устойчивость к пиковым колебаниям расходов и концентрации.

**Оксирапиды (в настоящее время в проектировании практически не применяются)** [32] (рисунок 8.9) – аэротенки-отстойники коридорного типа с пневматической аэрацией и принудительной подачей циркулирующего активного ила эрлифтом в зону аэрации.

Применяются при  $Q = 10 \dots 50$  тыс. м<sup>3</sup>/сут; позволяют работать с высокой нагрузкой по БПК на активный ил. При оборудовании зоны отстаивания их тонкослойными блоками производительность оксирапидов возрастает в 1,5–1,7 раза.

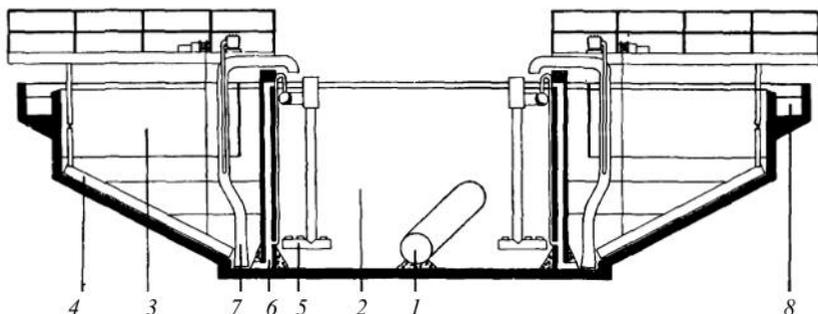


Рисунок 8.9 – Оксирапид:

- 1 – подача сточных вод; 2 – зона аэрации; 3 – зона отстаивания; 4 – скребковое устройство;  
5 – воздух; 6 – трубопровод циркулирующего ила; 7 – всасывание избыточного ила;  
8 – выпуск очищенных сточных вод

**Фильтротенки (в настоящее время в проектировании практически не применяются) [32]** (рисунок 8.10) – аэротенки-отстойники, в зоне аэрации которых расположены специальные фильтросные насадки, что обеспечивает их работу при очень высоких дозах активного ила  $A = 12 \dots 25 \text{ г/дм}^3$  (обычный аэротенк  $A = 2 \dots 2,5 \text{ г/дм}^3$ , аэротенк-отстойник  $A = 3 \dots 6 \text{ г/дм}^3$ ) и высокую окислительную мощность (10–12 кг БПК<sub>5</sub> на 1 м<sup>3</sup>/сут), также сокращает время аэрации. Насадка работает попеременно в режиме фильтрации и регенерации. Из-за быстрого возрастания сопротивления слоя активного ила режим фильтрации длится всего около 1 мин. Регенерация осуществляется обратным током воздуха, подаваемого в насадку. Продолжительность фильтрации и регенерации поддерживается автоматически.

Фильтротенки применяются при БПК<sub>5</sub> до 2000 мг/дм<sup>3</sup>.

**Окситенки** – аэротенки-отстойники с механической аэрацией, в которых вместо воздуха используется технический кислород или обогащенный кислородом воздух, благодаря чему создаются условия для повышения дозы ила и его активности, снижается прирост ила и энергозатраты на аэрацию, увеличивается окислительная мощность и снижаются эксплуатационные расходы очистных сооружений.

Применяют при производительности свыше 50 000 м<sup>3</sup>/сут.

**Противоточные аэротенки** (рисунок 8.11) – комбинированное сооружение, в котором создается длительный контакт иловой смеси с пузырьками воздуха в условиях противотока воздуха движению воды, что обеспечивает высокую эффективность использования кислорода.

Применяют при БПК<sub>5</sub> до 500–700 мг/дм<sup>3</sup>. Обеспечивают возможность повышения дозы ила до  $A = 5 \dots 6 \text{ г/дм}^3$  и окислительной мощности приблизительно в 2 раза.

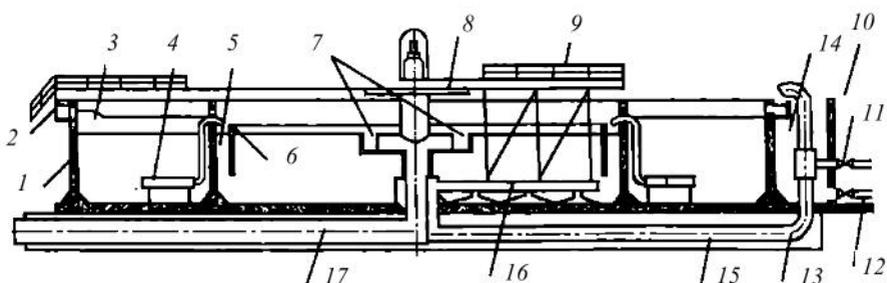


Рисунок 8.10 – Фильтротенк радиального типа:

1 – распределительный лоток; 2 – лоток возвратного ила; 3 – зона аэрации; 4 – фильтрующая насадка; 5 – камера дегазации; 6 – струенаправляющая насадка; 7 – сборные лотки; 8 – ферма илососа; 9 – ферма илососов с мостиком обслуживания; 10 – камера управления; 11 – воздуховод; 12 – трубопровод избыточного ила; 13 – эрлифт; 14 – иловая камера; 15 – трубопровод возвратного активного ила; 16 – илососы; 17 – илососы; 18 – трубопровод очищенных сточных вод

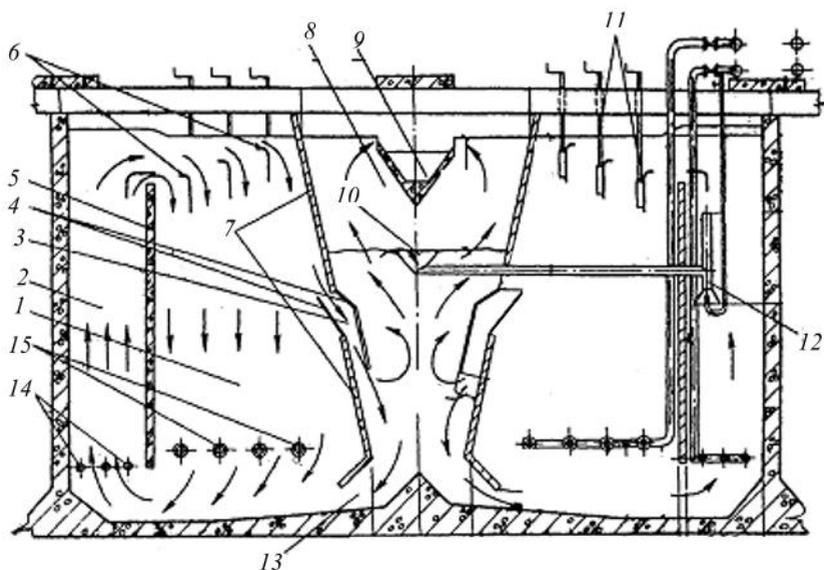


Рисунок 8.11 – Схема противоточного аэротенка:

1 – зона аэрации; 2 – зона эрлифтной циркуляции; 3 – впускные окна; 4 – козырьки; 5 – полупогружная перегородка; 6 – струенаправляющие лопасти; 7 – перегородки; 8 – зона оттаивания; 9 – водосборный лоток; 10 – воронки; 11 – винтовые крепления; 12 – иловые эрлифты; 13 – циркуляционные щели; 14 – решетки из дырчатых труб; 15 – мелкопористые пневматические аэраторы

*Биотенк* (рисунок 8.12) – аэрационное сооружение со специальной загрузкой, способствующей увеличению общего количества биомассы. Процесс биологической очистки в биотенке происходит с использованием как свободно плавающего активного ила, так и биологической пленки, нарастающей на загрузочном материале, благодаря чему биотенки имеют более высокую окислительную мощность по сравнению с обычными аэротенками.

Загрузка выполняется в виде отдельных кассет или блоков из пластмассовых жестких или гибких рулонных материалов. Между дном, стенками биотенка и загрузкой имеются зазоры для циркуляции сточной воды, препятствующей выпадению ила на дно сооружений. Сама загрузка находится в зоне сравнительно небольших скоростей движения воды, что способствует наращиванию биологической массы на загрузочном материале. Предусмотрена возможность извлечения отдельных кассет или блоков из биотенка.

Биотенки целесообразно применять для очистки сточных вод с высокой концентрацией органических веществ. Запасы биологической массы обеспечивают стабильную работу биотенка при резких колебаниях состава поступающих сточных вод или залповых сбросах.

При использовании биотенков снижается вероятность «вспухания» активного ила, так как нитчатые бактерии, вызывающие это явление, хорошо закрепляются на загрузке и не попадают с иловой смесью во вторичные отстойники. Это обеспечивает более высокое качество очищенной воды и позволяет значительно повысить рабочую дозу активного ила и, соответственно, окислительную мощность сооружения. В связи с этим биотенки рекомендуется использовать для биологической очистки производственных сточных вод, для которых характерно образование активного ила с интенсивным развитием нитчатых бактерий и высоким иловым индексом (например, сточные воды молокоперерабатывающей промышленности).

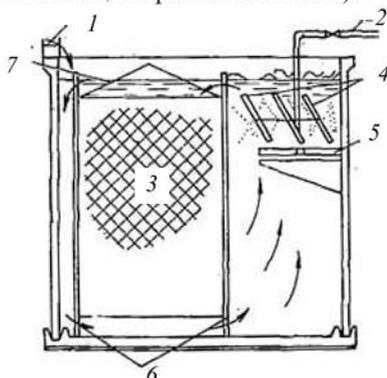


Рисунок 8.12 – Биотенк-отстойник:

1 – подача воздуха; 2 – подача сточных вод; 3 – аэратор; 4 – подача иловой смеси в зону отстаивания; 5 – центральный короб; 6 – блочная загрузка; 7 – отстойник

## 8.4 Особенности технологических схем биохимической очистки производственных сточных вод

При большом количестве концентрированных промышленных сточных вод и наличии источника технического кислорода целесообразно использовать в качестве 1-й ступени биологической очистки окситенк (рисунок 8.13), а в качестве 2-й ступени – обычный аэротенк. Окситенк не обеспечивает полную очистку; доочистка сточных вод до требуемых санитарно-химических показателей происходит в аэротенке.

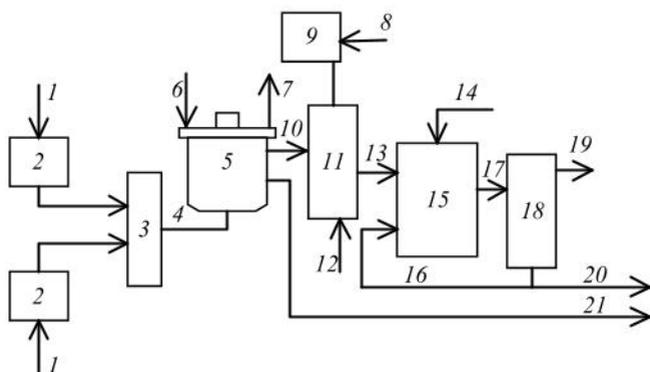


Рисунок 8.13 – Схема очистки концентрированных сточных вод:

1, 4, 12 – промышленные сточные воды; 2 – усреднитель; 3 – смесительная камера; 5 – окситенк; 6 – технический кислород; 7 – газы; 8 – хозяйственно-бытовые СВ; 9 – накопитель; 10, 13 – смешанные сточные воды; 11 – смесительная камера; 14 – воздух; 15 – аэротенк; 16 – возвратный активный ил; 17 – иловая смесь; 18 – вторичный отстойник; 19 – очищенная вода; 20 – избыточный активный ил; 21 – избыточный активный ил из окситенка

Промышленные сточные воды 1 после усреднителей 2 поступают в смесительную камеру 3, из которой смешанный поток сточных вод 4 направляется в окситенк 5. В окситенк подают технический кислород 6; газы отводятся через трубопровод 7.

Очищенные сточные воды 10 из окситенка поступают в смесительную камеру 11, где смешиваются с хозяйственно-бытовыми сточными водами 8 из накопителя 9. Смешанные сточные воды 13 направляются в аэротенк 15, где полностью очищаются. В аэротенк подают воздух 14 и возвратный активный ил 16. Иловая смесь 17 из аэротенка поступает во вторичный отстойник 18, где от активного ила отделяется очищенная вода 19. Избыточный активный ил 21 из окситенка и избыточный активный ил 20 из вторичного отстойника 18 отправляются на обработку осадка.

При большом содержании аммонийного азота в сточных водах необходима их нитрификация.

В этом случае для очистки промышленных сточных вод следует использовать технологическую схему, приведенную на рисунке 8.14.

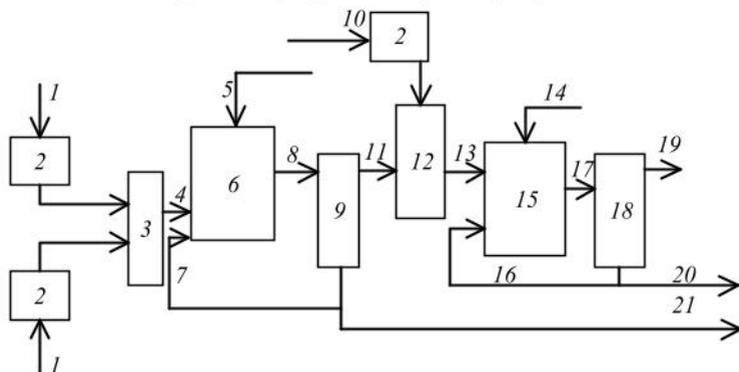


Рисунок 8.14 – Схема очистки сточных вод с высоким содержанием аммония:

- 1, 10 – промышленные сточные воды; 2 – усреднитель; 3, 12 – смесительная камера;  
4, 11, 13 – смешанные сточные воды; 5, 14 – воздух; 6 – нитрификатор; 7 – активный ил;  
8, 17 – иловая смесь; 9, 18 – вторичный отстойник; 15 – аэротенк; 16 – возвратный активный ил;  
19 – очищенная вода; 20, 21 – избыточный активный ил

Промышленные сточные воды 1, содержащие большое количество аммонийного азота, после усреднителя 2 поступают в смесительную камеру 3. Смешанные сточные воды 4 из смесительной камеры 3 подаются в нитрификатор 6, где происходит нитрификация аммонийного азота нитрифицирующими микроорганизмами активного ила. Иловая смесь 8 направляется во вторичный отстойник 9, где жидкость отделяется от активного ила. Возвратный нитрифицирующий активный ил 7 подается в нитрификатор 6, в который также подается необходимое количество воздуха 5. После вторичного отстойника нитрифицированные смешанные сточные воды 11 поступают в смесительную камеру 12, куда также подаются промышленные сточные воды 10, содержащие органические загрязнения и прошедшие усреднители 2.

Полученный новый смешанный поток сточных вод 13 направляется в аэротенк 15. Аэрацию воздухом 14 в аэротенке организуют таким образом, что в нем вначале образуется зона денитрификации, в которой органические загрязнения окисляются нитратами с выделением свободного азота, затем зона аэрации, где происходит окончательное окисление органических загрязнений.

Иловая смесь 17 поступает из аэротенка 15 во вторичной отстойник 18, в котором очищенная вода 19 отделяется от активного ила, который частично возвращается в аэротенк как возвратный ил 16, а частично в качестве избыточного ила 20 вместе с илом 21 подается на обработку осадка.

При поступлении на очистные сооружения промышленных сточных вод, содержащих большое количество аммонийного азота и органические загряз-

нения, целесообразно использовать схему, которую иногда называют *системой трех культур* (рисунок 8.15), состоящую из трех стадий (ступеней) очистки (аэрация, нитрификация и денитрификация). Каждая ступень имеет свой аэротенк, отстойник, систему возврата активного ила.

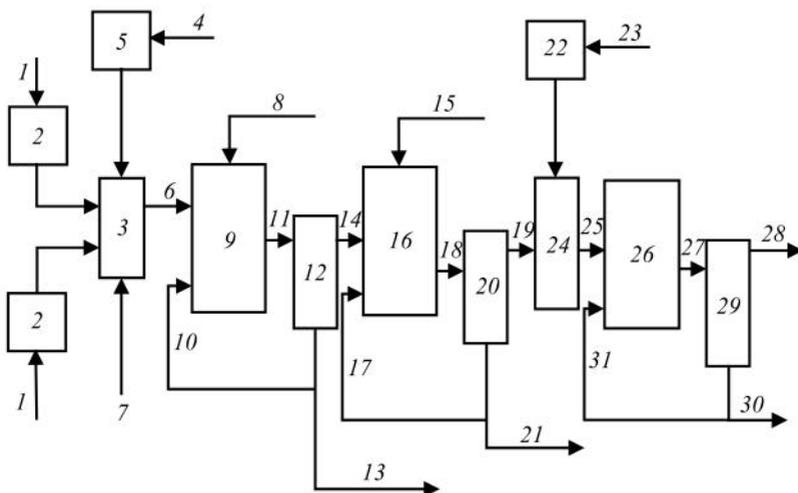


Рисунок 8.15 – Схема очистки промышленных сточных вод «система трех культур»:

1, 23 – промышленные сточные воды; 2, 22 – усреднитель; 3, 24 – смесительная камера; 4 – хозяйственно-бытовые сточные воды; 5 – накопитель; 6, 25 – смешанные сточные воды; 7 – условно чистая вода; 8, 15 – воздух; 9 – аэротенк; 10, 17, 31 – возвратный активный ил; 11, 18, 27 – иловая смесь; 12, 20, 29 – вторичный отстойник; 13, 21, 30 – избыточный активный ил; 14 – отделившаяся от активного ила вода; 16 – нитрификатор; 19 – очищаемая вода; 26 – денитрификатор; 28 – очищенная вода

Промышленные сточные воды 1, содержащие аммонийный азот и органические вещества, через усреднители 2 поступают в смеситель 3, в который также могут подаваться хозяйственно-бытовые сточные воды 4 из накопителя 5 и условно чистая вода 7. Смешанный поток сточных вод 6 поступает в аэротенк 9, в который также подаются необходимое количество воздуха 8 и возвратный активный ил 10. В аэротенке 9 происходит биохимическое окисление органических загрязнений и частичное потребление аммонийного азота.

Иловая смесь 11 поступает во вторичный отстойник 12, из которого отделившаяся от активного ила вода 14, поступает в нитрификатор 16, где под воздействием нитрифицирующего активного ила и воздуха 15 происходит нитрификации аммонийного азота. Затем иловая смесь 18 поступает во вторичный отстойник 20, из которого вода 19 поступает в смесительную камеру 24 денитрификатора 26.

В смесительную камеру через усреднитель 22 подаются промышленные сточные воды 23, содержащие только легкоокисляемые органические вещества. Смешанный поток сточных вод 25 поступает в денитрификатор 26, где происходит процесс восстановления нитритов и нитратов до свободного азота, а также окисление сапрофитными микроорганизмами органических загрязнений кислородом азотсодержащих соединений. Иловая смесь 27 поступает во вторичный отстойник 29, где происходит отделение очищенной воды 28 от активного ила. Активный ил из вторичных отстойников 12, 20, 29 частично возвращается на соответствующие стадии биохимического процесса очистки как возвратный ил 10, 17, 31, а частично как избыточный ил 13, 21, 30 поступает на обработку осадка.

Для минимизации влияния залповых сбросов промышленных сточных вод рекомендуется технологическая схема, позволяющая поддерживать постоянной скорость потребления кислорода при изменяющихся условиях функционирования очистных сооружений (рисунок 8.16).

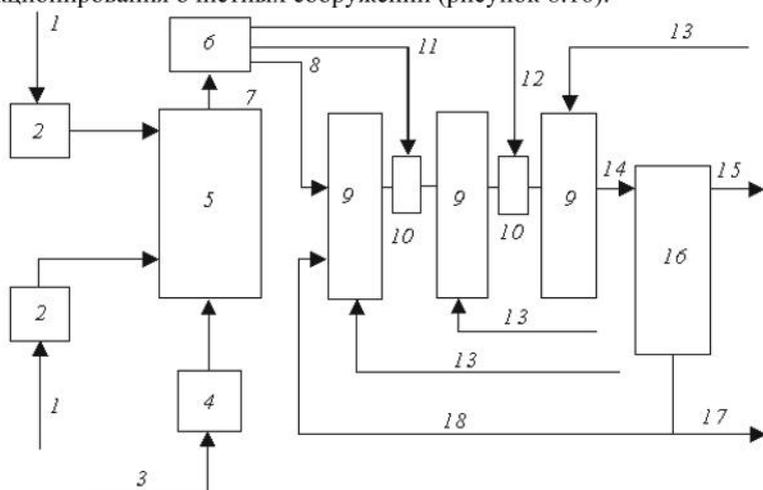


Рисунок 8.16 – Схема очистки промышленных сточных вод, поддерживающая постоянную скорость потребления кислорода

1 – промышленные сточные воды; 2, 4 – усреднитель; 3 – хозяйственно-бытовые сточные воды; 5, 10 – смесительная камера; 6 – распределительное устройство; 7, 8, 11, 12 – смешанные сточные воды; 9 – реактор-смеситель; 13 – воздух; 14 – иловая смесь; 15 – очищенная вода; 16 – вторичный отстойник; 17 – избыточный активный ил; 18 – возвратный активный ил

В этой схеме аэротенк разделен на реакционные камеры, представляющие собой самостоятельные реакторы-смесители 9, суммарный объем которых эквивалентен объему аэротенка. Промышленные сточные воды 1 через усреднители 2 и хозяйственно-бытовые сточные воды 3 через усреднитель 4 подаются в смесительную камеру 5, из которой смешанные сточные воды 7

через распределительное устройство 6 поступают во все реакторы (потоки 8, 11 и 12). В реакторы подается воздух 13.

Иловая смесь, выходя из предыдущего реактора, смешивается с соответствующим количеством смешанного потока сточных вод в смесителях 10 и подается на вход следующего реактора. Из последнего реактора иловая смесь 14 поступает во вторичный отстойник 16, в котором очищенная вода 15 отделяется от активного ила. Активный ил частично возвращается в технологическую схему в виде возвратного ила 18, а частично в виде избыточного активного ила направляется на обработку осадка 17. Возвратный активный ил 18 подается в первый реактор-смеситель.

Перераспределение смешанных сточных вод 7 между реакторами приводит к изменению концентрации активного ила в них и наиболее благоприятным условиям работы сооружений биологической очистки при залповых сбросах сточных вод.

Если на очистные сооружения поступают промышленные сточные воды, содержащие большое количество органических загрязняющих веществ и минеральные соли не более 30 тыс. мг/дм<sup>3</sup>, то целесообразно перед подачей в аэротенки направить эти воды на установки анаэробного сбраживания (рисунок 8.17). Промышленные сточные воды 1 после усреднителей 2 поступают в смесительную камеру 4, в которую подается вода 3, прошедшая анаэробную очистку. Смешанные сточные воды 5 поступают в метантенк 7, где происходит его анаэробная очистка.

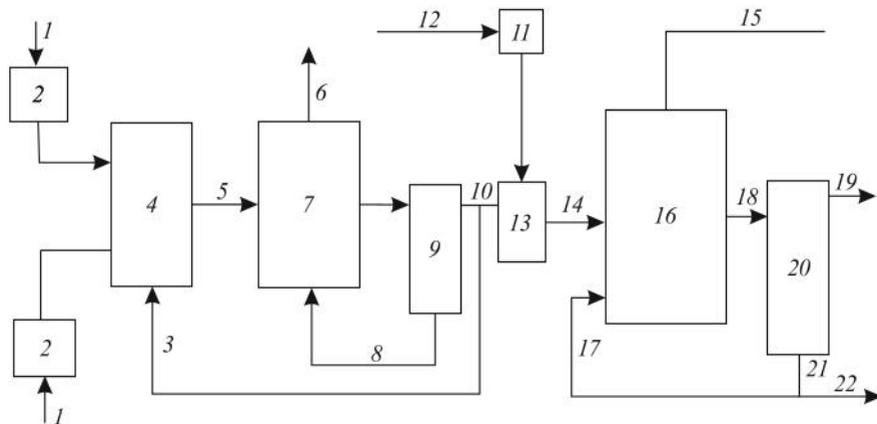


Рисунок 8.17 – Схема очистки промышленных сточных вод с установкой анаэробного сбраживания:

1 – промышленные сточные воды; 2 – усреднитель; 3 – очищаемая вода; 4, 13 – смесительная камера; 5, 14 – смешанные сточные воды; 6 – газы из метантенка; 7 – метантенк; 8, 21 – активный ил; 9 – отстойник; 10 – очищаемая вода; 11 – накопитель; 12 – хозяйственно-бытовые сточные воды; 15 – воздух; 16 – аэротенк; 17 – возвратный активный ил; 18 – иловая смесь; 19 – очищенная вода; 20 – вторичный отстойник; 22 – ил на обработку осадка

В метантенке смешанные сточные воды очищаются не полностью, поэтому после анаэробной очистки вода 10, пройдя отстойник 9, поступает в смесительную камеру 13, в которую подаются также после накопителя 11 хозяйственно-бытовые сточные воды 12. Из смесителя 13 смешанный поток сточных вод 14 направляется в аэротенк 16, в который подается воздух 15. В аэротенке 16 достигается полная очистка смешанных сточных вод.

Иловая смесь 18 из аэротенка поступает во вторичный отстойник 20, где очищенная вода 19 отделяется от активного ила 21. Активный ил частично возвращается в аэротенк в виде возвратного ила 17, а частично 22 направляется на обработку в виде осадка. Образующиеся в метантенке газы б отводятся в газосборник. Из отстойника 9 активный ил 8 возвращается в метантенк.

Анаэробно-аэробная система биологической очистки сточных вод, обеспечивая высокую степень очистки от загрязняющих веществ, позволяет снизить энергоемкость очистных сооружений за счет использования образующихся газов в качестве источника энергии; при этом общие энергозатраты снижаются в 7–10 раз.

## 9 ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКОВ И ШЛАМОВ

В процессе очистки сточных вод на очистных сооружениях образуются осадки [37]. В зависимости от условий формирования и особенностей отделения различают осадки первичные и вторичные (таблица 9.1).

*Таблица 9.1 – Классификация осадков сточных вод*

Группы	Типы осадков	Сооружения и оборудование, отделяющие осадки
<i>Первичные</i> – грубодисперсные примеси, которые находятся в твердой фазе и выделены из воды такими методами механической очистки, как процеживание, седиментация, фильтрация, флотация, осаждение в центробежном поле.		
I	Грубые (отбросы)	Решетки, сита
II	Тяжелые	Песколовки
III	Плавающие	Жировки, отстойники
IV	Сырые, выделенные из сточной воды в результате механической очистки	Отстойники первичные, осветлители
<i>Вторичные</i> – примеси, первоначально находящиеся в воде в виде коллоидов, молекул и ионов, но в процессах биологической или физико-химической очистки воды или обработки первичных осадков образуют твердую фазу.		
V	Сырые, выделенные из сточной воды после биологической или физико-химической очистки	Отстойники вторичные, флотаторы
VI	Сброженные, прошедшие обработку в анаэробных перегнивателях, метантенках, и осадки, стабилизированные в аэробных стабилизаторах	Септики, двухъярусные отстойники, осветлители-перегниватели, метантенки, аэробные стабилизаторы
VII	Уплотненные, подвергнутые сгущению до предела текучести (до влажности 90–85 %)	Уплотнители: гравитационные, флотационные, сепараторы
VIII	Обезвоженные, подвергнутые сгущению до влажности 80–40 %	Иловые площадки, вакуум-фильтры, фильтр-прессы, центрифуги и др.
IX	Сухие, подвергнутые термической сушке до влажности 5–40 %	Сушиллки: барабанные, вальцовые, с кипящим слоем, со встречными струями

Составы осадков по размеру частиц отличаются большой неоднородностью. Их размеры колеблются от 10 мм и более до частиц коллоидной и молекулярной дисперсности.

Обработка осадков проводится с целью получения конечного продукта, наносящего минимальный ущерб окружающей среде или пригодного для утилизации в производстве.

### **9.1 Концентрирование и обезвоживание осадков и шламов**

В комплексе проблем, связанных со строительством и эксплуатацией очистных сооружений сточных вод, важнейшей является управление образующимися осадками. Данная проблема требует решения двух взаимосвязанных задач:

- использование современных, наиболее эффективных технологий и оборудования для уменьшения массы и объемов осадка;
- выбор и реализация способов конечного, экологически безопасного размещения и утилизации обработанных осадков в окружающей среде.

Для решения первой задачи имеется целый ряд отечественных и зарубежных технических приемов, выбор которых должен определяться на основе технико-экономических показателей и в тесной взаимосвязи со способами решения второй задачи.

На выходе из очистных сооружений осадки сточных вод представляют собой жидкую фазу. Как правило, жидкие осадки подвергаются обработке с целью максимального снижения их влажности при минимуме затрат: статическому или динамическому сгущению (после которого осадки все еще остаются жидкими) и обезвоживанию (обычно частичному) до влажности 65–85 %, что придает осадкам пастообразную и даже более плотную форму.

В последнее время находит все большее применение механическое обезвоживание осадка на центрифугах, камерных, мембранных и ленточных фильтр-прессах, гидроциклонах с последующей термической сушкой или сжиганием. Сопоставление методов и аппаратов для механического обезвоживания осадков показывает, что каждый из них имеет ряд преимуществ и ряд недостатков.

Метод вакуум-фильтрации для обезвоживания большинства категорий осадков и, прежде всего, осадков сооружений биологической очистки устарел. Недостатками вакуум-фильтров являются необходимость использования больших объемов ручного труда при эксплуатации, потребность в большом объеме вспомогательного оборудования (вакуум-насосы, воздуходувки, ресиверы, центробежные насосы и устройства, обеспечивающие постоянное питание вакуум-фильтра) и значительных производственных площадях, высокая энергоемкость, повышенные расходы минеральных реагентов. Недо-

статком вакуум-фильтра является также его низкая эффективность, обусловленная невозможностью поддержания постоянного разрежения из-за подсоса воздуха, сложность управления, низкая надежность, невозможность использования органических флокулянтов для кондиционирования осадка. Барабанные вакуум-фильтры громоздки, что обусловлено сравнительно малой поверхностью фильтрации, приходящейся на единицу объема и единицу массы аппарата. В этом отношении более выгодны ячейковые дисковые вакуум-фильтры, в которых фильтрующая поверхность образована несколькими полыми дисками. Преимуществом вакуум-фильтров является возможность обработки осадков без выделения песка и распространения запаха.

Вакуум-фильтры представляют собой горизонтальные барабаны, обтянутые синтетической тканью (рисунок 9.1). Они на одну треть диаметра погружены в ванну с осадком и медленно вращаются со скоростью 1 оборот за 4–7 минут. Внутри барабаны разделяются на ряд изолированных секторов (камер). При вращении барабана сектора, погруженные в осадок, автоматически подсоединяются к трубкам от вакуум-насоса, а сектора, расположенные выше уровня осадка, подсоединяются к трубкам от компрессора. Поэтому в первых (из указанных) секторах образуется вакуум и осадок слоем в 10–20 мм прилипает к ткани, а во-вторых, под действием повышенного давления прилипший слой осадка обезвоживается за счет фильтрации внутрь барабана и легко отделяется ножом или скребком и далее попадает на транспортер. Влажность кека после вакуум-фильтра – до 80 %.

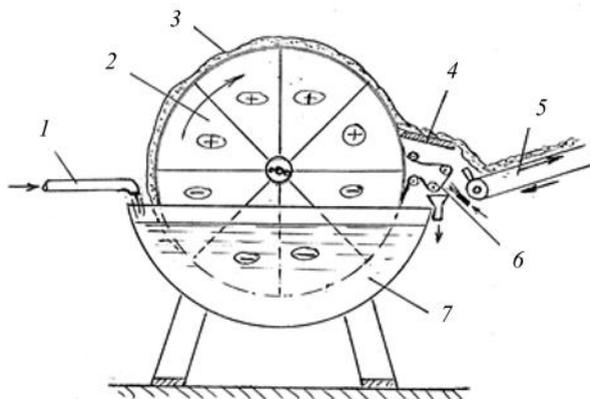


Рисунок 9.1 – Вакуум-фильтр:

1 – трубопровод для подачи осадка; 2 – барабан; 3 – слой осадка (кек); 4 – нож;  
5 – транспортер; 6 – устройство для промывки фильтрующей ткани; 7 – ванна с осадком

Вакуум-фильтры в зависимости от производительности имеют диаметры барабанов от 1,76 до 3 м, длину от 0,96 до 4,4 м. Объем осадка в ванне от 1,3 до 3 м<sup>3</sup>. Мощность электродвигателя – от 1,1 до 4 кВт.

Перед подачей осадка в ванну вакуум-фильтра его предварительно промывают и обрабатывают коагулянтами. Это делается с целью снижения удельного сопротивления осадка при его фильтрации путем удаления из осадка коллоидных и других мелких фракций. Фильтр-прессы применяют для обработки сжимаемых аморфных осадков в тех случаях, когда осадок направляют после обезвоживания на сушку или сжигание либо когда необходимо получить осадки с минимальной влажностью. Это оборудование рационально использовать для обезвоживания осадков промышленных сточных вод с высоким содержанием минеральных составляющих.

Широко применяемые ранее диафрагменные камерные прессы ФПАКМ, состоящие из набора горизонтальных прямоугольных плит, между которыми перемещается фильтровальная лента, сейчас применяются сравнительно редко по экономическим соображениям.

Получили распространение камерные бездиафрагменные прессы, состоящие из ряда вертикально расположенных фильтровальных плит (рисунк 9.2). На этих плитах закрепляются фильтровальные ткани или салфетки. При сжатии плит путем перемещения их специальным механизмом между ними образуются камеры.

Осадок подается по центральной трубе и далее растекается по всему фильтровальному пространству. При подаче осадка в этом пространстве создается давление до 1 МПа. Под действием давления при прессовании вода, содержащаяся в осадке, фильтруется через салфетки или отрезки тканей, попадает в специальные отводные канавки или трубки и отводится снова на очистку.

Фильтрующие плиты изготавливаются из пластмассы, серого чугуна, стали или алюминиевых сплавов, салфетки из полипропиленового волокна или хлопка. Толщина слоя уплотненного осадка между плитами в зависимости от обрабатываемого осадка – от 10 до 50 мм. Содержание сухого вещества в нем – до 60 %.

После прессования плиты раздвигаются и осадок выпадает на транспортер под дном аппарата. Площадь фильтрующей поверхности – до 600 м<sup>2</sup>. Количество плит – до 100 штук. Главный недостаток – при раздвигании плит выпадению осадка иногда приходится помогать вручную.

Камерные фильтр-прессы применяются на крупных промышленных объектах для глубокого обезвоживания осадков (60–65 %), имеют низкие удельные затраты энергии и большую производительность единицы оборудования. Однако они требуют большой производственной площади, мощных фундаментов и сложной системы удаления обезвоженного осадка. Кроме того, перед фильтрованием осадок необходимо обработать реагентами или флокулянтами.

Камерные фильтр-прессы чаще используются в горнодобывающей промышленности и других отраслях, где высока доля неорганического материала в осадке. Данный метод обезвоживания подходит также для осадков, образующихся после химического осаждения фосфора.

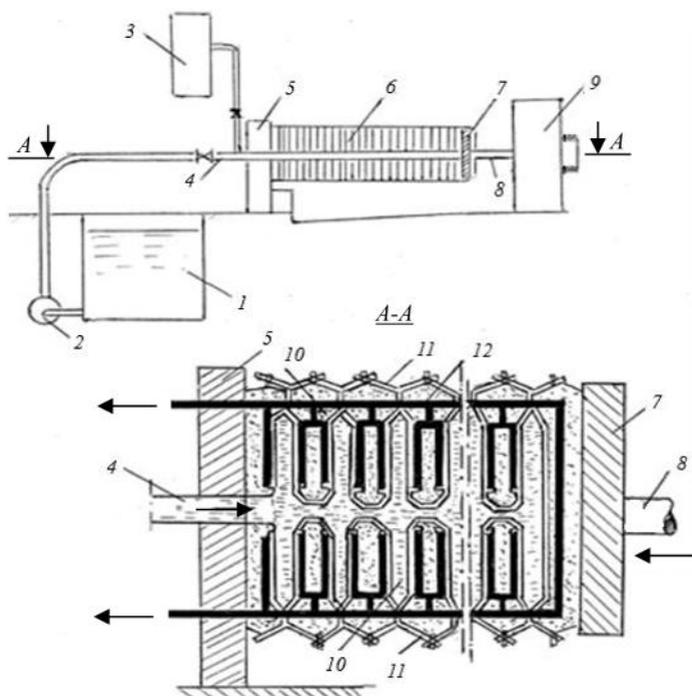


Рисунок 9.2 – Схема камерного фильтр-пресса:

1 – резервуар для отстоя осадка; 2 – насос; 3 – пост управления и дозирования реагента; 4 – подающий трубопровод; 5 – неподвижная плита; 6 – набор фильтрующих плит; 7 – подвижная плита; 8 – шток; 9 – механизм для прессования; 10 – фильтрующие плиты; 11 – салфетки из ткани или бумаги; 12 – сборные каналы для отведения воды

В последнее время стали шире применяться ленточные фильтр-прессы (рисунок 9.3). По расположению фильтровальных лент они бывают горизонтальные, вертикальные и угловые.

Общим элементом всех ленточных фильтр-прессов является наличие двух непрерывно движущихся параллельно друг другу фильтровальных лент. Между этими лентами размещается осадок и отжимается от влаги путем сдавливания лент шарами или роликами. Рабочая ширина фильтровальных лент – 1200 мм. Они изготавливаются из лавсанового или полиэфирного волокна с размерами ячеек примерно 0,5 мм. Скорость протяжки лент – от 0,6 до 6 м/мин и подбирается индивидуально на основе экспериментов.

Предварительно обработанный флокулянтос осадок подается по трубопроводу в приемный лоток и попадает на ленту в зоне «А». На этом участке происходит частичное обезвоживание осадка под действием гравитационных сил и фильтрации воды через ленту. В зоне «В» осадок попадает в зазор

между двумя движущимися лентами и отжимается на барабане 6 под давлением ролика 13. Выделившаяся влага частично попадает внутрь ролика, на поверхности которого имеются отверстия, а частично отжимается между двумя лентами и в результате сливается в поддон 14. Далее обе ленты протягиваются через узел предварительного отжима под давлением металлических шаров 7 и узел окончательного отжима под действием прижимных валиков 8. Вода сливается в поддон 14. Движение лент обеспечивается приводным барабаном 9, с которого осадок снимается ножом 10 и попадает в лоток 11 и транспортер. Имеется специальное устройство для промывки лент с форсункой 12. Влажность осадка снижается с 95–97 % до 76–78 %.

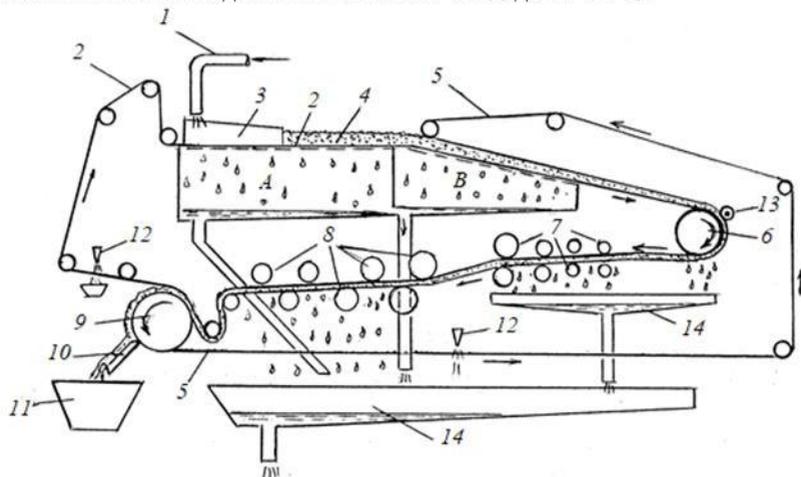


Рисунок 9.3 – Схема ленточного фильтр-пресса:

- 1 – трубопровод для подачи осадка; 2 – фильтровальная лента № 1; 3 – приемный лоток; 4 – осадок; 5 – фильтровальная лента № 2; 6 – трубчатый фильтровальный аппарат; 7 – узел предварительного отжима; 8 – узел окончательного отжима осадка; 9 – приводной барабан; 10 – нож для съема осадка; 11 – резервуар для приема осадка; 12 – система промывки лент; 13 – отжимной ролик; 14 – сборные поддоны

Ленточные фильтр-прессы по затратам энергии и флокулянтов более экономичны по сравнению с вакуум-фильтрами; по сравнению с центрифугами – наиболее экономичны, просты в обслуживании и ремонте. При этом снижаются удельные затраты электроэнергии, обеспечивается устойчивость процесса обезвоживания осадка с повышенным содержанием абразива.

Все большее распространение находит центрифугирование осадков. Центрифугирование осадков заключается в разделении фаз в поле центробежных сил. Достоинствами этого метода по сравнению с другими методами являются простота, экономичность и управляемость процессом.

После обработки на центрифугах получают осадки низкой влажности (до 70 %).

Хорошо себя зарекомендовали центрифуги западных фирм, например немецкой фирмы «Вестфалия-Сепаратор», которые внедрены во многих городах России и Украины.

Метод центробежного обезвоживания осадков на осадительных горизонтальных шнековых центрифугах (деканторах) применяется с конца 60-х годов прошлого века. В последнее время рядом зарубежных фирм разработаны и освоены центрифуги нового поколения – центрифуги глубокого обезвоживания или центрипрессы. Для механического обезвоживания осадков используются декантерные центрифуги BARGAM (Италия) и шнековые дегидраторы AMCON (Япония).

Схема противоточной центрифуги представлена на рисунке 9.4.

Осадок 1 поступает под напором по центральной трубе 2, откуда сначала через отверстия попадает внутрь полого вала-шнека 3, а затем через отверстие во вращающийся ротор. Ротор и шнек вращаются электродвигателями 7 в одну сторону, но с разными скоростями. Под действием центробежной силы твердые частицы отбрасываются к стенкам ротора 5 и под действием лопастей шнека 4 и разности скоростей вращения перемещаются в коническую часть ротора, а оттуда в соответствующий бункер 8. Жидкость отводится в противоположную сторону и попадает в бункер для жидкости 9.

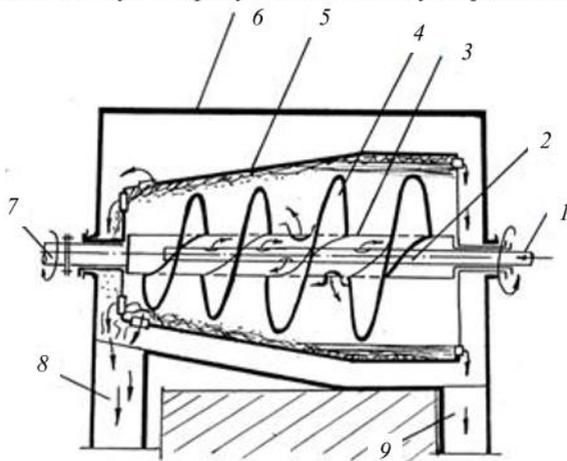


Рисунок 9.4 – Схема центрифуги:

- 1 – впуск осадка; 2 – центральная труба с осадком; 3 – полый вал (шнек) с отверстиями;  
4 – лопасти шнека; 5 – ротор; 6 – корпус центрифуги; 7 – вал двигателя; 8 – бункер для осадка;  
9 – бункер для фугата

**Реагентная обработка осадков.** Осадки сточных вод содержат гидрофильные и гидрофобные органические и минеральные вещества, гидроксиды металлов, масла и нефтепродукты, имеют сложную структуру и плохо обезвоживаются. Одним из свойств осадка является удельное сопротивление

осадков фильтрации. Это замеренное в стандартных условиях сопротивление единицы массы твердой фазы осадка, отлагающейся на единице площади фильтра, при фильтрации под постоянным давлением, выраженное в г/м<sup>2</sup>. Реагентная обработка осадков изменяет структуру осадка, снижает удельное сопротивление и улучшает его способность отдавать влагу. Для реагентной обработки применяют коагулянты и флокулянты минерального и органического происхождения.

Последние различаются по способу получения на синтетические и природные и электрическому заряду – на анионные, катионные и неионогенные.

Из минеральных коагулянтов чаще всего применяют соли железа и алюминия. Соли алюминия менее эффективны. Используется также сочетание коагулянтов и различных реагентов, например хлорида железа FeCl<sub>3</sub> с известью. Вместо кристаллического хлорида железа применяют его раствор, являющийся отходом производства, используют более дешевый по сравнению с сульфатом железа Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (II) сульфатом железа Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> (III). Для обработки некоторых осадков применяют одну известь с последующей ее регенерацией в результате сжигания обезвоженных осадков. Минеральные коагулянты, как правило, коррозионны, вызывают трудности при транспортировке, хранении, приготовлении и дозировании.

**Тепловая обработка осадка.** Заключается в разрушении связи между водой и коллоидным веществом осадка тепловыми методами. При нагревании до 140–200 °С структура осадка необратимо изменяется и дальнейшая обработка осадка может осуществляться без применения реагентов. Обработанный осадок стерилен, легко уплотняется и имеет после уплотнения меньшую влажность, чем при реагентной его обработке. Однако при тепловой обработке образуется высококонцентрированная иловая вода и парогазовая смесь, необходима дезодорация парогазовой смеси и осадка или герметизация соответствующих сооружений для его обезвоживания, а также требуются значительные капитальные и эксплуатационные расходы и сложная конструкция реактора.

Сжигание осадков осуществляют, если их утилизация невозможна или экономически нецелесообразна.

Сжигание – это процесс окисления органической части осадков до газов (диоксид углерода, водяные пары и азот) и золы. Перед сжиганием осадки должны быть или механически обезвожены, или подвергнуты термической сушке, или пройти оба этих процесса.

Возможное присутствие в газах при сжигании осадков токсичных компонентов может вызвать серьезные трудности при очистке этих газов перед выбросом в атмосферу.

Процесс сжигания осадков состоит из следующих стадий: нагревание, сушка, отгонка летучих веществ, сжигание органической части и прокаливание для выгорания остатков углерода.

Возгорание осадка происходит при температуре 200–500 °С. Прокаливание зольной части осадка завершается его охлаждением. Температура в топке печи должна быть в пределах 700–1000 °С.

Установки для сжигания осадков должны обеспечивать полноту сгорания органической части осадка и утилизацию теплоты отходящих газов.

Для сжигания осадков наибольшее распространение получили печи кипящего слоя, барабанные вращающиеся печи и циклонные печи.

## **9.2 Восстановление коагулянтов и регенерация сорбентов**

Среди возможных приемов обработки осадков с точки зрения охраны окружающей среды и использования вторичных ресурсов значительный интерес представляют методы, позволяющие регенерировать коагулянты из алюминийсодержащих осадков, образующихся в процессе коагуляционной обработки воды. В литературе в основном описаны два способа регенерации алюмосодержащих коагулянтов: кислотной и щелочной регенерации.

Традиционная схема кислотной регенерации включает в себя уплотнение осадка, обработку гидроксидного осадка серной или соляной кислотами; разделение реакционной смеси на раствор регенерированного коагулянта и вторичный кислый осадок; нейтрализацию вторичного осадка известью с последующим его обезвоживанием. Эффективность регенерации коагулянта в зависимости от вида кислоты и ее количества, качества осадка и времени контакта составляет 50–98 %. Наиболее эффективной является серная кислота, при использовании которой удается перевести в раствор до 80–98 % гидроксида алюминия, содержащегося в осадке. Оптимальное значение pH при этом составляет 2,5–3,2. При использовании соляной кислоты эффективность регенерации – 50–75 %, значение pH около 2. Регенерированный коагулянт обладает коагулирующей способностью, близкой к товарному реагенту.

Несмотря на высокую эффективность кислотной регенерации, данный способ имеет существенные недостатки, среди которых в первую очередь следует отметить высокую загрязненность коагулянта вследствие растворения в кислой среде различных веществ органического и минерального происхождения, содержащихся в осадке, и возможности их накопления при многократной регенерации. Регенерированный коагулянт рекомендуется использовать для физико-химической очистки сточных вод.

Метод щелочной регенерации рассматривался зарубежными специалистами. Целесообразно его использование при обработке воды с низким значением pH. При последующей обработке воды доза регенерированного коагулянта в большинстве случаев не превышает 40 % от общей дозы реагента. Использование регенерированного щелочного коагулянта приводит к интенсификации хлопьеобразования, увеличению остаточных значений pH и ще-

лочности обрабатываемой воды, а также к снижению ее коррозионной активности, что позволяет исключить или снизить расход реагентов, необходимых для подщелачивания и стабилизационной обработки воды.

Однако анализ возможных эксплуатационных показателей работы очистных сооружений показывает, что несмотря на привлекательность методов кислотной и щелочной регенерации коагулянтов из алюмосодержащего осадка, они вряд ли в ближайшее время смогут найти применение на отечественных станциях. Причинами являются необходимость использования не свойственных для основной технологии реагентов (кислоты), огромных количеств извести, возможный переход содержащихся в осадках вредных веществ в регенерированный коагулянт, что будет препятствовать его повторному использованию.

Под регенерацией сорбента понимается процесс возвращения ему исходных качеств путем проведения определенных операций.

Методы регенерации активных углей условно можно разделить на три вида:

- химический;
- низкотемпературный термический;
- термический.

Под химической регенерацией понимают обработку сорбента жидким или газообразным, органическими или неорганическими реагентами при температуре, как правило, не выше 1000 °С. Химически регенируют как углеродные, так и неуглеродные сорбенты. В результате этой обработки сорбат либо десорбируется без изменений, либо десорбируются продукты его взаимодействия с регенирующим агентом. Химическая регенерация часто протекает непосредственно в адсорбционном аппарате. Большинство методов химической регенерации узкоспециальны для сорбатов определенного типа. Рассмотрим некоторые примеры химической регенерации активных углей.

Самый простой метод регенерации сорбента – нагревание его в некотором объеме воды. Это приводит к росту степени диссоциации и растворимости сорбата и, в итоге, к десорбции части сорбата. При регенерации активного угля нагревают воду и фильтруют ее через активный уголь. Эффект такой регенерации не выше – 20–40 %.

Из всех методов химической регенерации угля наибольшее распространение, особенно в водоподготовке, получила обработка активных углей растворами гидроксида и карбоната натрия.

Регенерация 2,5%-го NaOH позволяет 8 раз использовать уголь КАД для дезодорации воды (после 4-кратной регенерации снижение сорбционной емкости составляет 40–50 %).

Десорбция органического сорбата из активного угля растворами кислот используется сравнительно редко (2,5%-й раствор H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> десорбирует неко-

торые пестициды). Чаще кислоты служат окислителем сорбата на угле. Окислителем органического сорбата может быть и  $H_2O_2$ .

Низкотемпературная термическая регенерация – это обработка сорбента паром или газом при 100–400 °С. Процедура эта достаточно проста и во многих случаях проводится непосредственно в адсорберах.

Водяной пар вследствие высокой энтальпии чаще других используют для низкотемпературной термической регенерации. Он безопасен и доступен в производстве.

Для пропарки адсорбера необходимы лишь парогенератор и холодильник-конденсатор. Отработанный конденсат направляется либо на сжигание, либо на выделение ценного сорбата.

Химическая регенерация и низкотемпературная термическая регенерация не обеспечивает полного восстановления адсорбционных углей.

Термическая регенерация – процесс весьма сложный, многостадийный, затрагивающий не только сорбат, но и сам сорбент. Термическая регенерация приближена к технологии получения активных углей.

При карбонизации сорбатов различного типа на угле большая часть примесей разлагается при 200–350 °С, а при 400 °С обычно разрушается около половины всего адсорбата.  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$  – основные продукты разложения органического сорбата – выделяются при нагревании до 350–600 °С. В теории стоимость такой регенерации составляет 50 % стоимости нового активного угля.

В последнее время изучаются методы регенерации с использованием  $\gamma$ -излучения, под воздействием которого происходит деструкция сорбата. В малых дозах это излучение инициирует окисление кислородом на активном угле органических соединений, присутствующих в воде  $CO_2$  и  $H_2O$ .

Регенерация полимерных сорбентов для нефтепродуктов:

1 Отжим поглощенной нефти на фильтр-прессах, в центрифугах с повторным использованием (компрессионный метод).

2 Отгонка летучих фракций нефти путем нагрева сорбентов без доступа воздуха от 250 до 300 °С (термический метод).

Степень извлечения нефти из сорбентов определяется качеством нефти, а именно содержанием в ней маловязких и летучих фракций. Компрессионные методы являются более дешевыми, но при их использовании может быть нарушена структура сорбентов и их емкость, при последующем использовании увеличивается кратность регенерации сорбентов. Их можно использовать лишь с учетом термостойкости сорбирующего материала. Одним из наиболее эффективных методов регенерации отработанных сорбентов и носителей катализаторов является термическая десорбция.

3 Воздействие электромагнитным излучением СВЧ (ООО «Газоочистка»).

4 Промывка горячей водой.

5 Твердые частицы загрязнений могут быть возогнаны или растворены в технологической жидкости и вымыты.

6 Испарение осевшие на волокнах капель и пленок жидкости.

### **9.3 Использование осадков производственных сточных вод**

В мировой практике накоплен значительный опыт по вопросам предотвращения неблагоприятного воздействия производственных отходов на окружающую среду. К таким мероприятиям относится использование их в качестве вторичного сырья в промышленности.

Наиболее перспективным является путь утилизации ряда отходов в строительстве, а также их использование в качестве полупродуктов в промышленности. Во многих странах мира накоплен опыт по рециркуляции металлов, содержащихся в осадках сточных вод. Например, в Германии повторное использование железа достигает 38 %, олова – 34 % и цинка – 33 %; в США используют 43 % меди; в Великобритании свинца – 60 % и алюминия – 33 % [69]. Тем не менее, следует отметить, что процессы рециркуляции металлов из отходов экономически выгодны в тех случаях, когда их концентрация достаточно высока, а технология рециркуляции малоэнергоемка.

При выборе альтернативных решений необходимо предусматривать то, которое обеспечивает максимальное уменьшение объемов обрабатываемых и утилизируемых осадков.

Способы повторного использования осадков:

1 Осадки бытовых сточных вод являются органоминеральным азотно-фосфорным удобрением, повышающим урожай сельскохозяйственных культур не менее, чем в два раза. Однако применять осадки, образующиеся в городах, в качестве удобрения если и допустимо, то только после специальной обработки или компостирования вместе с торфом и в концентрациях не выше ПДК. Дело в том, что вследствие сброса в систему водоотведения производственных сточных вод в осадках содержится значительное количество вредных для здоровья людей и животных соединений тяжелых металлов, а также ядовитых веществ. Эти вещества в процессе роста растений переходят в них, и сельскохозяйственные культуры также становятся вредными и ядовитыми. Поэтому фактически в развитых странах в качестве удобрений используется не более 10–30 % осадков бытовых сточных вод.

2 Совместное сжигание осадка с другими видами органического топлива. Исследование эффективности сжигания осадка с другими топливами было проведено в Голландии. Оценка проводилась по трем показателям: экологическая безопасность, экономичность, техническая осуществимость. По всем показателям наибольшая эффективность наблюдалась при совместном сжигании осадка с углем. Имеется положительный опыт сжигания осадка на электростанциях и цементных заводах.

В последнее время получает распространение изготовление так называемого «вторичного топлива из отходов». Оно представляет собой гранулы, в состав которых могут входить угольная пыль, измельченная древесина, осадки канализации и целлюлозно-бумажной промышленности, отходы нефтепродуктов.

3 Газификация и пиролиз. Преимуществами этих методов является получение топлива, пригодного к транспортировке, которое может использоваться для получения как тепловой, так и электрической энергии.

4 Активный ил является ценным белково-витаминным кормовым продуктом и может использоваться в качестве добавки при кормлении животных, птиц и пушных зверей. Но такое использование активного ила возможно лишь при отсутствии в нем токсичных веществ.

5 Активный ил может использоваться для получения из него методом пиролиза активированных углей, используемых в качестве сорбента.

6 Осадки сточных вод предприятий целлюлозно-бумажной промышленности могут использоваться в производстве картона, мешочной бумаги, целлюлозы.

7 В Германии предложен способ сжигания активного ила с получением заменителей нефти и каменного угля. Подсчитано, что при сжигании 350 тыс. т активного ила можно получить топливо, эквивалентное 700 тыс. баррелей нефти и 175 тыс. т угля [1 баррель – 159 л]. Одним из преимуществ этого метода является то, что полученное топливо удобно хранить. В случае сжигания активного ила выделяемая энергия расходуется на производство пара, который немедленно используется, а при переработке ила в метан требуются дополнительные капитальные затраты на его хранение.

8 Использование активного ила в качестве флокулянта для сгущения суспензий.

9 Токсикологические исследования показали возможность переработки сырых осадков и избыточного активного ила в цементном производстве.

10 В связи со сложностью технологических процессов разделения веществ в отходах гальванических производств, а иногда и экономической нецелесообразностью этого разделения, одним из путей их дальнейшего использования является применение их после обезвреживания в качестве компонентов сырьевых смесей в строительной индустрии:

– введение в виде добавок в бетон в количестве 2 % от массы цемента, так как при этом бетон сохраняет основные строительные-технические свойства и соответствует санитарным нормам;

– добавка шламов в количестве 3–10 % в керамическую массу при производстве керамического кирпича;

– изготовление глиняной черепицы с мокрой подготовкой сырья;

– производство стеновых керамических изделий;

- изготовление керамзита с содержанием 20–40 % осадка сточных вод, который может применяться в качестве теплоизолирующего и конструкционного материала в строительстве;

- использование гальваношлама с большим содержанием гидроксида железа для получения гексаферрита бария, который применяется при изготовлении строительной керамики;

- присутствие железа, хрома и никеля в осадке позволяет использовать его при производстве декоративно-облицовочного материала – стеклохромзита;

- отходы на основе хромсодержащего катализатора применяют при изготовлении окрашенного стекла и стеклокристаллических материалов;

- производство асфальта;

- применение искусственного заполнителя на основе шлама в легких бетонах ограждающих конструкций и полов производственных и сельскохозяйственных зданий;

- использование в качестве строительного материала в ландшафтном строительстве;

- применение отходов, содержащих фосфатные компоненты, в производстве опаловых и глушенных стекол;

- цинкосодержащие отходы пригодны при изготовлении светотехнических изделий;

- получение ферромагнитных порошков, которые можно использовать при очистке сточных вод;

- производство цветной тротуарной плитки;

- получение фасадных красок.

11 Использование металлосодержащих осадков:

- для получения железоокисного пигмента коричневого цвета, по физико-химическим свойствам близкого к железному сурику;

- в лакокрасочной промышленности хромсодержащие отходы могут быть использованы для получения хромовых пигментов;

- получение железотитановых пигментов;

- использование ферритов кальция и цинка в грунтовках в качестве противокоррозионных пигментов для замены токсичных и дорогостоящих пигментов на основе свинца и хрома;

- использование шламов гальванических сточных вод в качестве красителей стекол.

12 Промывные воды после фильтров подвергают отстаиванию в течение не менее 4 ч, а затем осветленную воду возвращают «в голову» сооружений.

13 Огневая переработка никельсодержащих шламов, в результате которой получается сыпучий зольный остаток, содержащий оксид никеля, оксид кремния, оксид алюминия и оксид железа, который может быть использован в производстве катализаторов и в порошковой металлургии.

14 Огневая переработка железосодержащих шламов, в результате которой получается сыпучий зольный остаток, содержащий оксид марганца, оксид кремния, оксид натрия и оксид железа, который может быть использован в качестве сырья в металлургической промышленности, в производстве цемента и цветных бетонов, в качестве пигмента в лакокрасочной промышленности.

15 Комбинированная переработка медьсодержащих шламов. После отмывки шлама водой, обезвоживания и прокалки нерастворимого в воде остатка получается оксид меди, по своим показателям близкий к требованиям ГОСТа 16539-89. Он может быть использован в качестве добавок для получения микроудобрений, в производстве хлорида меди, в качестве сырья при получении химических продуктов, в производстве медного купороса и т. д.

16 Огневая переработка молибденсодержащих шламов, в результате которой не менее 95 % молибдена переходит в газообразную фазу в виде молибденового ангидрида  $\text{MoO}_3$ . Полученный продукт может быть использован в производстве катализаторов.

17 Использование железосодержащих осадков станций обезжелезивания в качестве наноструктурированных сорбционных материалов для удаления нефтепродуктов из водных сред.

Авторами предложено одно из перспективных направлений: использовать отходы станций обезжелезивания – осадок после промывки фильтров обезжелезивания (гидроокись железа и марганца) – для удаления из водных сред нефтепродуктов [66–79].

В качестве исходного материала выбраны отходы промывки фильтров обезжелезивания Гомельского водозабора «Ипуть» с определенным содержанием железа – 55,4 %, в качестве прекурсора магнитного сорбента использовались растворы кислотного выщелачивания железосодержащих осадков станций обезжелезивания. Кислотное выщелачивание железа из осадков проводилось 20%-й азотной кислотой в течение 60 мин при комнатной температуре и механическом перемешивании с частотой 100 об/мин. В качестве восстановителя использовались глицин, мочеви́на, лимонная кислота и гексаметилентетраамин [79].

С целью исследования влияния температуры инициации экзотермической реакции синтеза на состав получаемых продуктов и сорбционные свойства получаемых материалов температурные диапазоны были расширены и составляли 300–700 °С с шагом 100 °С. Железосодержащие магнитные сорбенты получали методом экзотермического горения в растворе согласно реакциям и методике, представленным в источниках [72–74].

Получаемые магнитные сорбенты обладают хорошей нефтеемкостью, около 6 г/г. Для получения таких материалов был использован метод экзотермического горения в растворах [66, 68, 79]. Преимуществами данного метода являются малое время подготовительных процедур и синтеза, низкие энергозатраты, легкая масштабируемость.

В результате проведения исследований получены следующие результаты и сделаны выводы:

- осадок после промывки фильтров обезжелезивания является перспективным исходным материалом для получения наноразмерных магнитных сорбентов методом экзотермического горения в растворах;

- полученные сорбенты обладают достаточно высокой удельной поверхностью (более  $150 \text{ м}^2/\text{г}$ ), сравнимой с суммарной площадью поверхности пористых адсорбентов [79];

- нефтеемкость, определенная для образцов сорбента f1, достигает значения  $7,65 \text{ г/г}$ , что сопоставимо с нефтеемкостью природных органических материалов и некоторых композиционных материалов, предлагаемых в качестве нефтяных сорбентов;

- избыток восстановителя при синтезе наноразмерных магнитных сорбентов не оказывает положительного влияния на свойства готовых образцов независимо от температуры синтеза;

- наиболее перспективным сорбентом являются образцы, полученные при температуре  $400\text{--}500 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

- наличие магнитных свойств по сравнению с обыкновенными сорбентами позволит извлекать сорбент из водных сред посредством наведенного магнитного поля;

- получение магнитных нефтяных сорбентов возможно без использования дорогостоящих технологий с одновременным использованием отходов станций обезжелезивания, что позволит сократить негативное антропогенное влияние на окружающую среду и получить экономический эффект как минимум за счет снижения себестоимости продукции.

## **10 ОСОБЕННОСТИ ВОДООТВЕДЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

### **10.1 Очистные сооружения нефтеперерабатывающих заводов, ТЭЦ, предприятий пищевой и легкой промышленности**

#### **Очистные сооружения нефтеперерабатывающих заводов.**

На нефтеперерабатывающих заводах предусматриваются две основные системы производственной канализации:

1) система I – для отведения и очистки нефтесодержащих нейтральных производственных и производственно-дождевых сточных вод. Сточные воды первой системы канализации после очистки, как правило, используются для производственного водоснабжения (пополнение системы оборотного водоснабжения и для отдельных водопотребителей);

2) система II – для отведения и очистки производственных сточных вод, содержащих нефть, нефтепродукты и нефтяные эмульсии, соли, реагенты и другие органические и неорганические вещества. Вторая система канализации в зависимости от вида и концентрации загрязняющих веществ разделяется на самостоятельные сети:

– нефтесодержащих вод от установок по подготовке нефти, вод сливных эстакад, промывочно-пропарочных станций;

– концентрированных сернисто-щелочных вод (растворы от защелачивания нефтепродуктов, сернисто-щелочные конденсаты);

– сточных вод производства синтетических жирных кислот (СЖК), содержащих парафин, органические кислоты и другие вещества;

– сточных вод нефтехимических производств (например, производств этилена, пропилена, бутиловых спиртов), загрязненных растворенными органическими веществами;

– сточных вод, содержащих тетраэтилсвинец от этилосмесительных установок и других объектов, где используется этилированный бензин;

– кислых сточных вод, загрязненных минеральными кислотами и солями.

Отдельные сети могут отсутствовать, если, например, на заводе нет производств, сбрасывающих соответствующие виды сточных вод, или предусмотрен их объединенный отвод. В частности, в сеть нефтесодержащих сточных вод после локальной очистки допускается передавать сточные воды производств СЖК или нефтехимических.

На отечественных и зарубежных НПЗ общепринятая схема включает три стадии очистки:

1) механическая – очистка от грубодисперсных примесей (твердых и жидких);

2) физико-химическая – очистка от коллоидных частиц, обезвреживание сернисто-щелочных вод и сточных вод ЭЛОУ;

3) биологическая – очистка от растворенных примесей. Кроме того, производится доочистка биологически очищенных сточных вод.

На некоторых зарубежных заводах для очистки для очистки от растворенных примесей используют сорбционный метод.

В таблице 10.1 приведены данные о применяемых схемах очистки сточных вод на ряде зарубежных заводов.

*Таблица 10.1 – Схемы очистки сточных вод на ряде зарубежных заводов*

Предприятие, фирма, город, страна	Схема очистки сточных вод
НПЗ компании «Маратон Ойл Ко», Техас-Сити, США	Нефтеловушки типа АНИ – реагентная флотация
НПЗ фирмы «Атлантик Ричфилд», Карлсон, США	Нефтеловушки типа АНИ – адсорбционная установка
Завод фирмы «Хамбл Ойл», Питсбург, США	Коагуляция – песчаные фильтры
НПЗ компании «Америкэн Ойл Ко», Уайгинг, США	Нефтеловушки типа АНИ – аэрируемый пруд – реагентная флотация
НПЗ фирмы «Хамбл Ойл», Бейтаун, США	Нефтеловушки типа АНИ – пруд дополнительного отстоя – аэротенки – биологические пруды
НПЗ фирмы «Ситиз-Сервис», Бронте, Канала	Нефтеловушки типа АНИ – пруд – усреднитель – коагуляция – биофильтры – озонирование – аэротенки – песчаные фильтры
НПЗ фирмы «ЕНИ», Ингельштадт, ФРГ	Нефтеловушки с параллельными пластинами – коагуляция – биологическая очистка
НПЗ, Польян, Франция	Нефтеловушки с параллельными пластинами – биологическая очистка
НПЗ, Сан-Нарро, Италия	Реагентная флотация – биологическая очистка
НПЗ, Питешти, Румыния	Нефтеловушки типа АНИ – коагуляция – биологическая очистка – сооружения доочистки

Для очистки сточных вод I системы в настоящее время на отечественных предприятиях используют две схемы. Первая схема включает очистку сточных вод в нефтеловушках, прудах, флотаторах, песчаных фильтрах и т. д. Очищенная вода используется для подпитки оборотных систем. Вторая, бо-

лее перспективная схема, кроме сооружений механической и физико-химической очистки включает сооружения биологической очистки, а в некоторых случаях – установки доочистки сточных вод.

В состав сооружений очистки сточных вод II системы входят установки механической очистки, физико-химической очистки сернисто-щелочных сточных вод, а также двухступенчатой биологической очистки. Кроме того, могут использоваться установки деминерализации воды, а также ее доочистки от взвешенных и растворенных органических примесей.

На рисунке 10.1 приведены схемы очистки сточных вод на отечественных НПЗ.

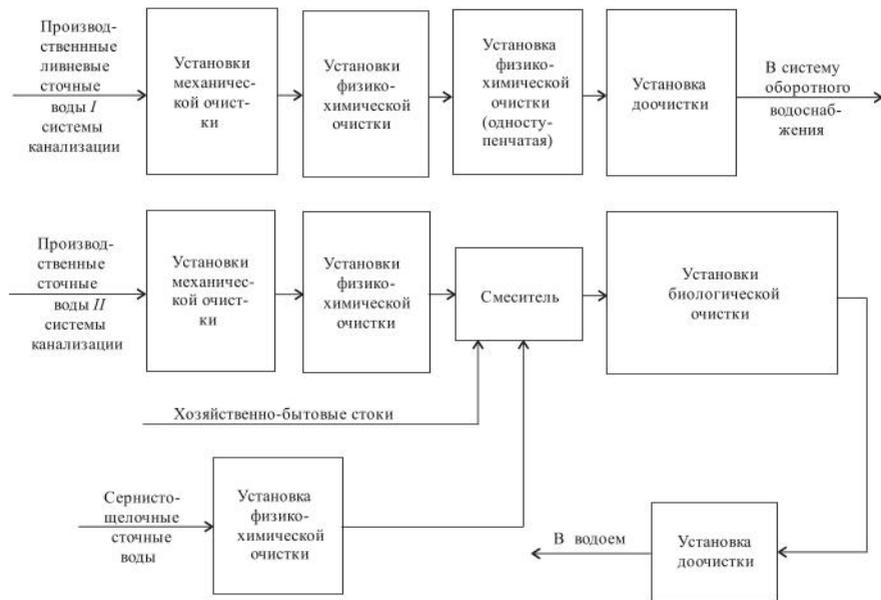


Рисунок 10.1 – Схемы очистки сточных вод на отечественных НПЗ

### Очистные сооружения ТЭЦ.

Современные тепловые электростанции являются источниками следующих основных видов сточных вод:

- вод охлаждения конденсаторов турбин, вызывающих тепловое загрязнение воды;
- регенерационных и промывочных вод от водоподготовительных установок и конденсатоочисток;
- вод, загрязненных нефтепродуктами;
- вод от обмывок наружных поверхностей котлов пиковых подогревателей, работающих на сернистом мазуте;

- отработавших растворов после химической очистки теплового оборудования и его консервации;
- вод систем гидрозолаудаления на ТЭС, работающих на твердом топливе.

Наибольшее практическое значение при очистке сточных вод ТЭС имеют методы: отстаивание, флотация, фильтрование, коагуляция и сорбция, извештование, разложение и окисление веществ.

*Воды охлаждения конденсаторов турбин, вызывающие тепловое загрязнение воды, подвергаются охлаждению.*

*Очистка сточных вод от водоподготовительных установок (ВПУ) и конденсатоочисток.*

На водоподготовительных установках используются реагенты и соли, которые необходимо удалять. В зависимости от качества исходной воды и принятых методов очистки рН сточной воды может изменяться в широких пределах – от 0,5 до 13. Также в сточных водах содержится шлам, вода от взрыхления и промывок насыпных механических фильтров. Схема нейтрализации щелочных регенерационных вод представлена на рисунке 10.2.

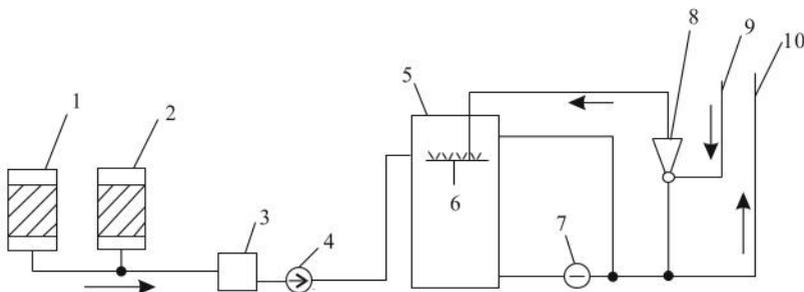


Рисунок 10.2 – Схема нейтрализации щелочных регенерационных вод дымовыми газами:

- 1 – Н-катионитовый фильтр; 2 – анионитовый фильтр; 3 – приемок сброса регенерационных вод; 4 – перекачивающий насос; 5 – бак-нейтрализатор; 6 – распределительное устройство; 7 – насос перемешивания и сброса; 8 – эжектор; 9 – дымовые газы; 10 – охлаждающая вода после конденсаторов турбин

*Воды, загрязненные нефтепродуктами.*

Для очистки сточных вод от нефтепродуктов применяются методы отстаивания, флотации и фильтрования.

Традиционными материалами для загрузки фильтров являются кварцевый песок и антрацит. Регенерацию фильтра следует производить водяным паром давлением 0,03–0,04 МПа. Пар разогревает уловленные нефтепродукты, и они под давлением вытесняются из слоя фильтрующей загрузки. Длительность регенерации обычно не превышает 3 ч. Вытеснение масла из фильтра сопровождается сначала ростом его концентрации в конденсате, а

затем ее уменьшением. Конденсат сбрасывается в баки перед нефтеловушкой или флотатором.

*Воды от обмывок наружных поверхностей котлов пиковых подогревателей, работающих на сернистом мазуте.*

В состав сточных вод входят грубодисперсные примеси, свободная серная кислота, железо, ванадий, никель, медь, сухой остаток. Ценным компонентом является оксид ванадия, который выделяют из воды в осадок (рисунок 10.3).

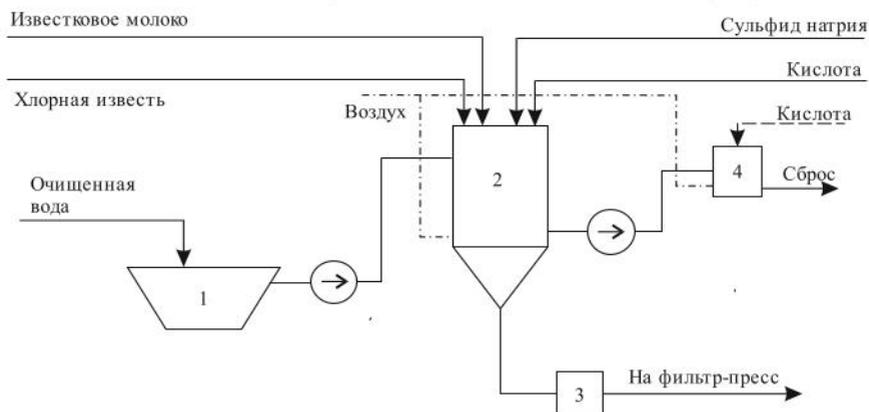


Рисунок 10.3 – Схема очистки промывочных сточных вод:  
1 – бак; 2 – бак-нейтрализатор; 3 – шламоотстойник; 4 – бак для коррекции pH

*Отработавшие растворы после химической очистки теплового оборудования и его консервации.*

Состав сточных вод от химических промывок представлен в таблице 10.2.

Осветленная вода, образующаяся после обезвреживания промывочных и консервирующих растворов, должна быть дополнительно обработана для придания ей нейтральной реакции ( $\text{pH} = 6,5 \dots 8,5$ ) и повторно использована на технологические нужды электростанции.

При обезвреживании сточных вод основной задачей является разрушение образовавшихся комплексов металлов и выделение их в осадок с помощью реагентов. Для осаждения железа вводят окислитель (обычно гипохлорит кальция  $\text{CaOCl}_2$ ). Для осаждения меди и цинка наиболее часто используют сульфид натрия  $\text{Na}_2\text{S}$ .

Для осаждения фтора используют:

- для частичного осаждения – известь;
- более полного – сульфат алюминия.

Осветленная вода из бака для коррекции водородного показателя (pH) отправляется на биохимическую очистку, являющуюся универсальным методом очистки.

Таблица 10.2 – Состав сточных вод от химических промывок оборудования  
В миллиграммах на дециметр кубический

Компоненты	Метод химической промывки					
	соляно-кислотный	комплексонный	адипиновокислотный	фталевокислотный	гидразиннокислотный	дихлороборными кислотами
Хлориды $Cl^-$	2000	–	–	–	–	–
Сульфаты $SO_4^{2-}$	–	300	300	300	300	300
Железо $Fe^{2+}$ , $Fe^{3+}$	300	250	230	230	300	230
Медь $Cu^{2+}$	50	30	–	–	–	–
Цинк $Zn^{2+}$	50	30	–	–	–	–
Фтор $F^-$	250	200	–	–	–	–
ОП-7, ОП-10	40	40	40	40	–	40
ПБ-5, В-1, В-2	40	–	–	–	–	–
Каптакс	–	5	5	5	–	5
Формальдегид	200	–	–	–	–	–
Аммонийные соединения $NH_4^+$	300	300	150	150	150	150
Нитриты $NO_2^-$	270	270	–	–	–	–
Гидразин $N_2H_4$	–	–	25	25	30	25
Солесодержание (минерализация)	2500	2000	1800	1800	2000	1700
ХПК, $mgO_2/l$	400	800	1700	1700	–	1400
БПК, $mgO_2/l$	200	200	1200	1200	–	1100

На ТЭС с замкнутой системой гидрозолоулавливания возможен сброс промывочных и консервационных растворов непосредственно на золоотвалы, если  $pH > 8$ . В противном случае промывочная вода предварительно нейтрализуется во избежание коррозии оборудования трубопроводов системы гидрозолоулавливания. Токсичные примеси сорбируются золой.

При отсутствии оборотной системы гидрозолоулавливания на ТЭС консервационные растворы подвергаются обработке различными окислителями: кислородом воздуха, хлорной известью и др.

Схема очистки сточных вод после химической очистки оборудования представлена на рисунке 10.4.

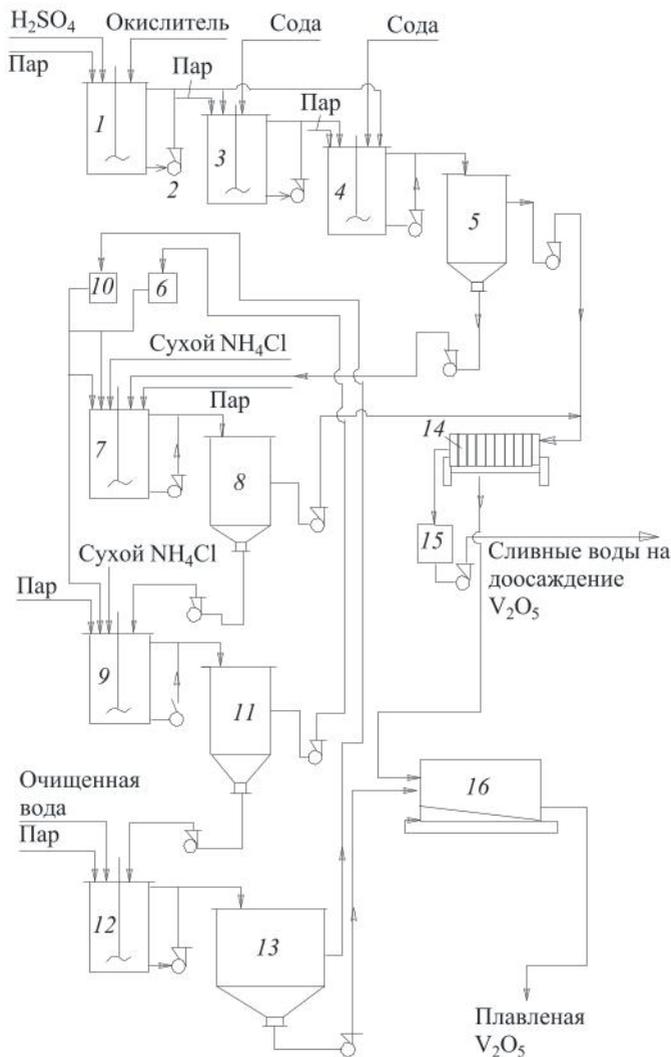


Рисунок 10.4 – Принципиальная схема процесса непрерывного осаждения пятиоксида ванадия из серно-кислых растворов:

1 – реактор; 2 – насос; 3 – бак-нейтрализатор; 4 – бак-коагулятор; 5, 8, 11, 13 – отстойник; 6, 10 – баки осветленного раствора; 7, 9, 12 – репульзаторы; 14 – фильтр-пресс; 15 – сборник сточных вод; 16 – плавильная печь

*Воды систем гидрозолоудаления на ТЭС, работающих на твердом топливе. Сточные воды содержат хром, фтор, мышьяк, ванадий.*

Шестивалентный хром восстанавливают бисульфитом натрия, осаждают известковым молоком. При этом происходит удаление ионов фтора.

Мышьяк удаляют с помощью реагентов (рисунок 10.5) или сорбентов (рисунок 10.6).

С помощью сорбентов удаляют и ртуть.

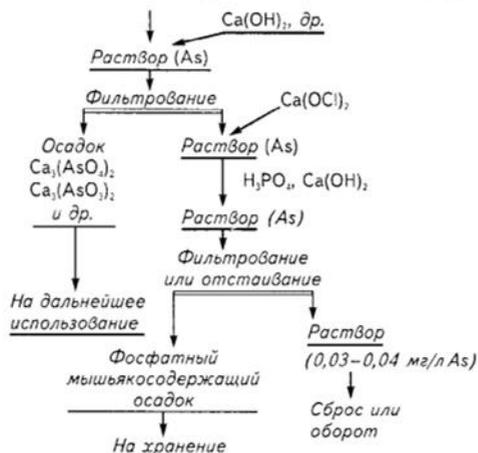


Рисунок 10.5 – Реагентный метод удаления мышьяка

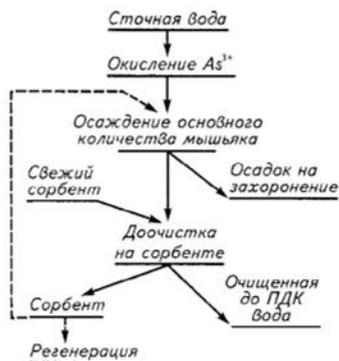


Рисунок 10.6 – Сорбционный метод удаления мышьяка или ртути

### Очистные сооружения предприятий пищевой промышленности.

Предприятия мясной промышленности подразделяют на три основные группы: мясокомбинаты и мясоптицекомбинаты; мясоперерабатывающие заводы; птицекомбинаты.

Наиболее распространенными на территории Республики Беларусь являются мясокомбинаты, в сточных водах которых содержатся взвешенные вещества, жиры, ионы кальция, магния, хлора, сульфаты, железо, биогенные элементы. Производственные сточные воды мясокомбинатов подразделяются на загрязненные жирные и загрязненные нежирные.

Загрязненные жирные и нежирные сточные воды подвергают механической очистке на локальных сооружениях, после чего объединяют с хозяйственно-бытовыми сточными водами и транспортируют на очистные сооружения населенного пункта или на самостоятельные очистные сооружения биологической очистки. В последнем случае необходимость сооружения узла локальной механической очистки нежирных сточных вод на территории мясокомбината устанавливают в каждом случае по технико-экономическим соображениям. Генплан сооружений представлен на рисунке 10.7.

При очистке жирных вод применяют биологические методы. Генплан очистных сооружений представлен на рисунке 10.8.

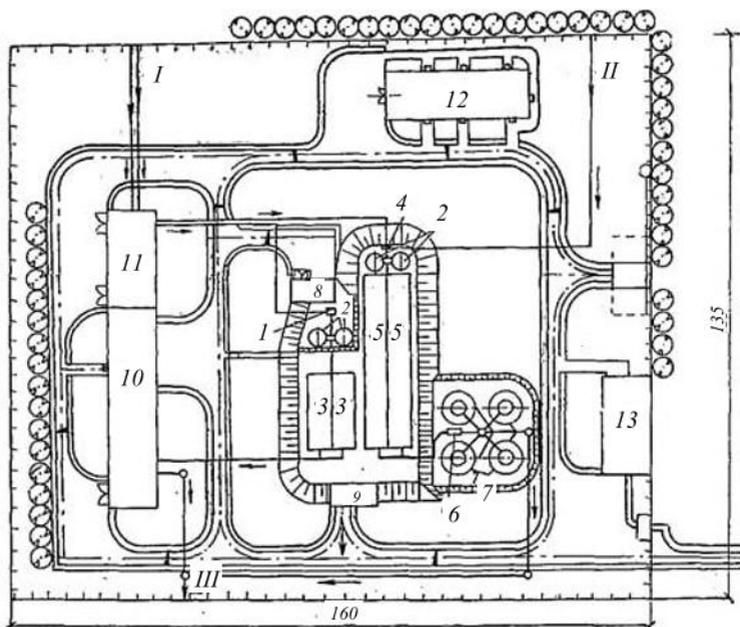


Рисунок 10.7 – Генплан сооружений механической очистки:

1 – приемная камера жирных сточных вод; 2 – песколовка; 3 – жироловка; 4 – приемная камера нежирных сточных вод; 5 – отстойник; 6 – смеситель; 7 – осветлитель; 8 – бункер для осадка; 9 – помещение вакуумных баков для осадка и жира; 10 – цех флотации; 11 – блок насосных станций с решетками; 12 – хлораторная; 13 – административный корпус; I – сточные воды мясокомбината; II – сточные воды бойни и изоляторов; III – сброс сточных вод в городскую канализацию

### Очистные сооружения предприятий легкой промышленности.

К текстильной промышленности относятся предприятия, изготавливающие хлопчатобумажную, льняную, шерстяную и шелковую пряжу и ткани из натуральных и химических волокон и их смесей. Сточные воды образуются при крашении волокна и пряжи, шлихтовании пряжи (усилении ее прочности клеящими веществами), химической обработке волокнистых материалов, отделке тканей и т. д.

Сточные воды содержат примеси, загрязняющие волокно, реагенты, отделочные препараты, отходы синтетических ПАВ и красителей, волокно и другие нерастворимые вещества. Сточные воды характеризуются также высокими показателями БПК и ХПК.

На стадии предварительной очистки сточных вод предусматривают усреднение их притока и состава, выделение волокна в волокнуловителях. Для последующей очистки применяют флотацию или реагентную обработку. Затем сточные воды направляют на станцию биологической очистки. Биологическая очистка возможна только при отсутствии ПАВ.

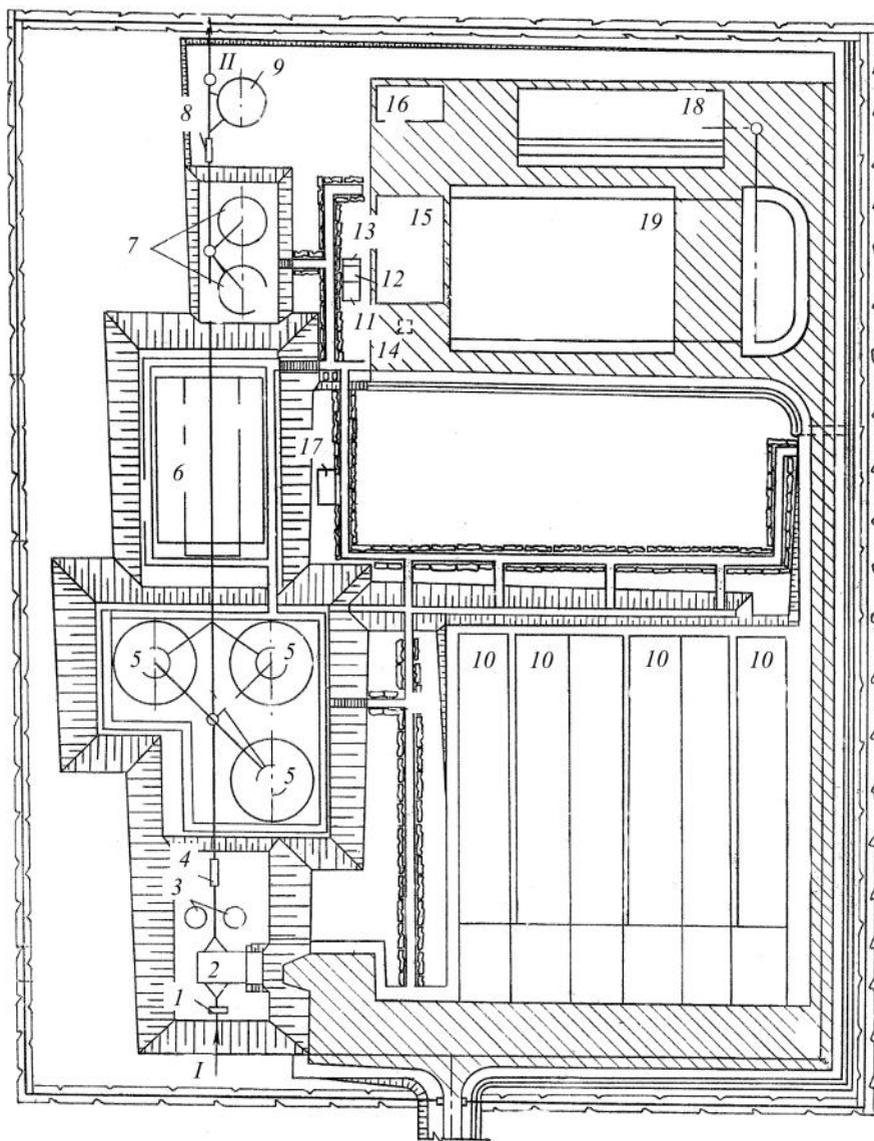


Рисунок 10.8 – Генплан сооружений биологической очистки:

- 1 – приемная камера; 2 – здание решеток; 3 – песколовка; 4 – водоизмерительный лоток; 5 – осветлитель-перегниватель; 6 – аэротенк; 7 – вторичный отстойник; 8 – смеситель; 9 – контактный резервуар; 10 – иловые площадки; 11, 12, 13 – резервуары осадков и воды; 14 – резервуар дренажных вод; 15 – блок производственных и бытовых помещений; 16 – хлораторная; 17 – вентиляционная установка; 18 – котельная; 19 – склад угля;

I – подача сточных вод; II – выпуск сточных вод

## 10.2 Совместная очистка производственных и бытовых сточных вод

Предварительная очистка производственных и бытовых сточных вод может производиться совместно или раздельно для каждого вида сточных вод, причем в последнем случае производственные сточные воды в зависимости от их характера могут подвергаться механической или химической обработке, а бытовые – только механической.

Совместная механическая очистка допускается, если характер загрязнения производственных вод не нарушает последующий биологический процесс или процесс обработки осадка. Совместная механическая очистка допускается также в случае незначительного количества производственных вод по отношению к бытовым, когда они не влияют на работу сооружений. В остальных случаях производственные и бытовые сточные воды должны направляться на очистные сооружения и очищаться раздельно.

Для надежной работы сооружений биологической очистки необходимо обеспечить:

- полное обессмоливание сточных вод и максимальное извлечение жиров;
- сохранение в смеси сточных вод  $6,5 < \text{pH} < 8,5$ ;
- по возможности полное удаление взвешенных органических, минеральных или волокнистых веществ из производственных сточных вод до смешения их с бытовыми;
- содержание вредных веществ в пределах, допустимых для жизнедеятельности микроорганизмов-минерализаторов;
- содержание растворенных минеральных солей в смеси сточных вод не более  $10 \text{ г/дм}^3$ ;
- верхний предел температуры сточных вод не более  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ , нижний –  $6 \text{ }^\circ\text{C}$ . При двухступенчатой очистке допускается повышение температуры сточных вод на первой ступени до  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Совместная биологическая очистка производственных и бытовых сточных вод не рекомендуется, если:

- производственные сточные воды после очистки могут быть использованы, а в смеси с бытовыми их применение исключается;
- очищенные бытовые сточные воды могут быть использованы, а в смеси с производственными их применение невозможно;
- разбавление бытовых сточных вод производственными увеличивает нагрузку на водный объект, так как содержание остаточных загрязнений превышает допустимое (например, остаточные нефтепродукты);
- время очистки производственных сточных вод намного больше, чем бытовых (например, вследствие различных скоростей окисления);
- осадок производственных или бытовых сточных вод может быть утилизирован, а осадок смешанных сточных вод невозможно использовать;
- в воде присутствуют вещества, не допускающие хлорирования (например, фенолы).

Принципиальная схема очистки производственных и бытовых сточных вод приведена на рисунке 10.9, а технологическая схема – на рисунке 10.10.

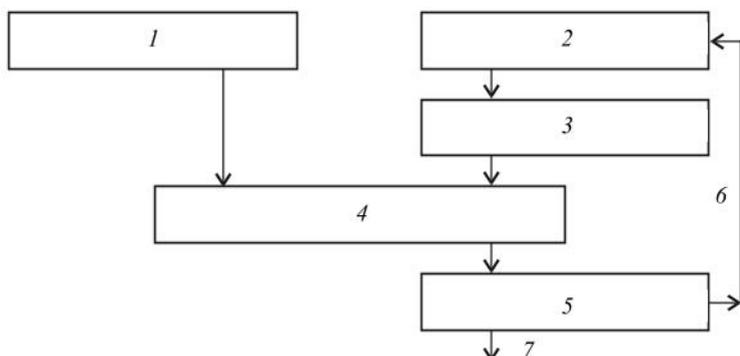


Рисунок 10.9 – Принципиальная схема очистки производственных и бытовых сточных вод:

1 – населенный пункт; 2 – ПП; 3 – локальные очистные сооружения; 4 – сооружения биологической очистки; 5 – сооружения доочистки; 6 – водоотводящая сеть; 7 – резервный выпуск в водный объект

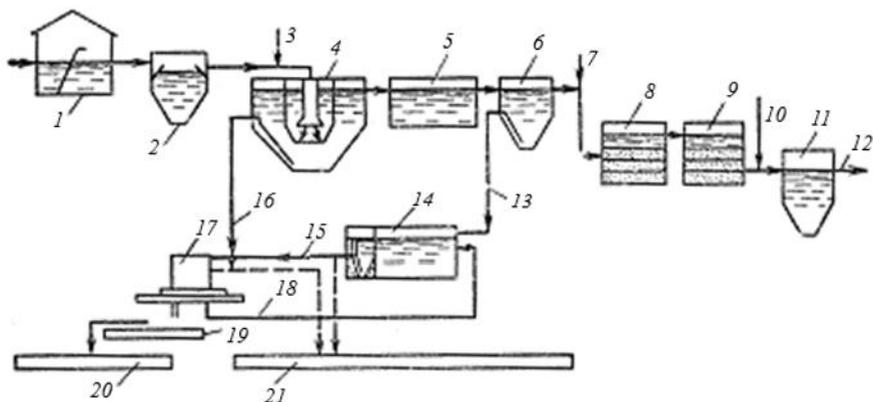


Рисунок 10.10 – Технологическая схема сооружений глубокой совместной очистки производственных и бытовых сточных вод:

1 – здание решеток; 2 – песколовка; 3 – трубопровод для подачи коагулянта; 4 – первичный отстойник со встроенной камерой хлопьеобразования; 5 – аэротенк; 6 – вторичный отстойник; 7 – воздухопровод; 8 – фильтр с зернистой загрузкой; 9 – фильтр с цеолитовой загрузкой; 10 – хлоропровод; 11 – контактный резервуар; 12 – трубопровод для отвода очищенных сточных вод; 13 – трубопровод для подачи избыточного активного ила; 14 – аэробный минерализатор; 15 – трубопровод для подачи стабилизированного активного ила; 16 – то же, сырого осадка; 17 – центрифуга; 18 – трубопровод для возврата фугата; 19 – транспортер для подачи осадка на компостирование; 20 – площадки для компостирования осадка; 21 – аварийные иловые площадки

Концентрация загрязнений  $C_{см}^i$ , мг/дм<sup>3</sup>, при смешении двух потоков определяется из уравнения

$$C_{см}^i = \frac{C_1^i q_1 + C_2^i q_2}{q_1 + q_2},$$

где  $C_1^i, C_2^i$  – концентрация  $i$ -го загрязняющего вещества в разных потоках, мг/дм<sup>3</sup>;

$q_1, q_2$  – расход сточных вод в потоках, м<sup>3</sup>/с.

### 10.3 Компоновка очистных сооружений

Высотное размещение очистных сооружений на выбранной площадке должно обеспечивать самотечное движение сточной воды, а сама площадка не должна затопливаться паводковыми водами.

Выбор площадки под очистные сооружения осуществляется в увязке с проектом планировки и застройки населенного пункта, а также с учетом наивыгоднейших решений размещения коммуникаций, связывающих очистные сооружения с населенным пунктом (железные и автомобильные дороги, водоснабжение, теплоснабжение и электроснабжение очистной станции). В то же время место для очистной станции должно быть выбрано по возможности ближе к месту выпуска сточных вод.

Площадка расположения очистных сооружений выбирается в соответствии с розой ветров, как правило, с подветренной стороны для преобладающих ветров теплого периода года относительно жилой застройки и ниже населенного пункта по течению водного объекта.

Очистные сооружения от границ жилой застройки отделяются санитарно-защитными зонами, размеры которых зависят от расчетного расхода, необходимой степени очистки и состава сооружений. Базовые размеры санитарно-защитных зон (СЗЗ) для канализационных очистных сооружений хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод представлены в таблице 10.3.

Состав очистных сооружений обосновывается технико-экономическими расчетами и зависит:

- от пропускной способности;
- требуемой степени очистки сточных вод;
- выбранного метода обработки и использования осадков.

Взаимное расположение сооружений должно учитывать возможность строительства комплекса очистки сточных вод по очередям и расширения.

Сооружения и здания должны быть размещены по возможности наиболее компактно.

Таблица 10.3 – Размеры санитарно-защитных зон

Сооружения для очистки сточных вод	Санитарно-защитная зона, м, при расчетной производительности сооружений, тыс. м <sup>3</sup> /сут			
	0,2	0,2–5,0	5,0–50	50–280
Насосные станции и аварийно-регулирующие резервуары, локальные очистные сооружения компактного типа с полной биологической очисткой с аэробной стабилизацией ила	15	20	20	30
Сооружения для механической и биологической очистки с иловыми площадками для сброженных осадков, а также отдельно расположенные иловые площадки	150	200	400	500
Сооружения для механической и биологической очистки с термомеханической обработкой осадков в закрытых помещениях	100	150	300	400
Поля фильтрации	200	300	500	1000
Поля орошения	150	200	400	1000
Биологические пруды	200	200	300	300

При разработке генплана очистных сооружений необходимо руководствоваться следующими рекомендациями:

1 Местоположение территории и отдельных сооружений и общая планировка очистной станции должны обеспечивать наилучшую организацию технологического процесса очистки сточных вод (все сооружения должны быть доступны для ремонта и обслуживания).

2 Компоновка всех сооружений должна обеспечивать возможность строительства очистной станции по очередям и рациональное использование территории с учетом перспективного расширения в связи с увеличением притока сточных вод.

3 Технологические и инженерные коммуникации прокладываются по наиболее коротким направлениям, компактно, преимущественно вдоль проездов.

4 Воздуховоды и тепловые сети прокладываются на низких опорах с устройством переходов над или под проездами.

5 Все сооружения должны быть расположены более компактно. Целесообразно блокировать отдельные сооружения в группы.

6 Разрывы между отдельными сооружениями должны быть минимальными и, в то же время, обеспечивать возможность очередности строительства. Предварительно они могут намечаться следующими:

- для группы одноименных сооружений – 2–3 м;
- группы разноименных сооружений – 5–10 м;
- группы сооружений механической и биологической очистки – 15–20 м;
- сооружений и иловых площадок с учетом обсадки их деревьями – 25–30 м;
- метантенков, газгольдеров (в зависимости от их емкости) – 20–50 м.

7 К каждому сооружению должен быть обеспечен подъезд транспорта для доставки материалов при ремонте.

8 Сооружения необходимо располагать симметрично для равномерного распределения сточных вод между ними.

9 На территории станции располагаются вспомогательные здания и сооружения: котельная, воздуходувная станция, лаборатория, административный корпус, мастерские, гараж и др.

Состав и площадь вспомогательных и бытовых помещений принимаются в зависимости от производительности станции, технологии очистки сточных вод, степени автоматизации, наличия у эксплуатирующей организации централизованного диспетчерского пункта, необходимости присутствия обслуживающего персонала, наличия мастерских по ремонту оборудования с учетом соблюдения санитарно-гигиенических требований к условиям труда обслуживающего персонала.

При организации лабораторного контроля на станции очистки сточных вод предусматриваются лабораторные помещения, состав и площади которых принимаются по таблице 10.4 в зависимости от производительности, технологии очистки сточных вод, количества обрабатываемых проб и выполняемых определений, степени автоматизации.

Таблица 10.4 – Площадь помещений

Помещение	Производительность очистных сооружений, тыс. м <sup>3</sup> /сут				
	1,4–10	11–50	51–100	101–250	свыше 250
Физико-химическая лаборатория по контролю: – сточных вод – осадков сточных вод	25 –	25 –	25 15	40 (две комнаты по 20) 15	50 (две комнаты по 25) 20
Бактериологическая лаборатория	–	20	22	33 (две комнаты по 18 и 15)	35 (две комнаты по 20 и 15)
Моечная и автоклавная	–	6	8	10	12
Помещения для хранения посуды и реактивов	6	6	12	15	20

Окончание таблицы 10.4

Помещение	Производительность очистных сооружений, тыс. м <sup>3</sup> /сут				
	1,4–10	11–50	51–100	101–250	свыше 250
Кабинет заведующего лабораторией	–	10	12	15	20
Помещения для пробоотборников	–	–	6	–	8

10 Территория станции должна быть ограждена, благоустроена, озеленена, освещена и иметь дороги с искусственным покрытием и пешеходные дорожки к каждому сооружению и зданию.

*При проектировании очистных сооружений необходимо предусматривать:*

- устройства для равномерного распределения сточных вод и осадка между отдельными сооружениями, а также для отключения сооружений, каналов и трубопроводов на ремонт без нарушения режима работы комплекса, для опорожнения и промывки сооружений и коммуникаций;

- устройства для измерения расходов сточных вод, осадка, воздуха, биогаза;

- максимальное использование вторичных энергоресурсов (биогаза, тепла сжатого воздуха и сточных вод) для нужд станции очистки;

- устройство опломбированного аварийного выпуска из приемной камеры и после сооружений механической очистки;

- оборудование для контроля качества поступающих и очищенных сточных вод;

- автоматизацию процессов, связанных с эксплуатацией и контролем очистки сточных вод.

Компоновка генерального плана очистной станции осуществляется после технологических и гидравлических расчетов сооружений по очистке воды и обработки осадков, лотков, трубопроводов, каналов, соединяющих сооружения между собой, после определения типовых или индивидуальных габаритов основных и вспомогательных производственных зданий, подсобных помещений. Разработка генерального плана производится с учетом санитарных требований, пожарной профилактики и техники безопасности. В зависимости от производительности очистной станции и состава ее сооружений, генеральный план составляется в масштабе 1:200, 1:500 или 1:1000.

На генеральный план наносятся основные и вспомогательные сооружения и здания, подводящие и отводящие лотки, каналы и трубопроводы, дороги, трубопроводы водопровода, канализации, дренажных вод, сети теплоснабжения, кабельная и телефонная сети, трансформаторная подстанция, котельная, мастерские, склады, административное здание, проходная, указываются на генплане расстояния между сооружениями, дорогами, забором по возможности с четырех сторон (осуществляется привязка).

Для более точного определения отметок уровня воды в различных точках очистной станции учитываются потери на местные сопротивления:

- при входе и выходе воды из сооружений;
- в измерительных устройствах и смесителях;
- в местах поворотов, сужений или расширений каналов и т. п.

После размещения очистных сооружений на генплане обозначают точки для проведения расчета (в местах изменения расхода воды, канала или сооружений). Направление расчета выбирают по наиболее длинному пути.

Для определения взаимного высотного расположения отдельных сооружений очистной станции одновременно с составлением генерального плана строят профили движения сточных вод, осадка и ила (профили называются «по воде» и «по илу»).

Профиль «по воде» (рисунок 10.11) представляет собой развернутый разрез по сооружениям по самому длинному пути движения воды от подводящего канала до выпуска в водный объект.

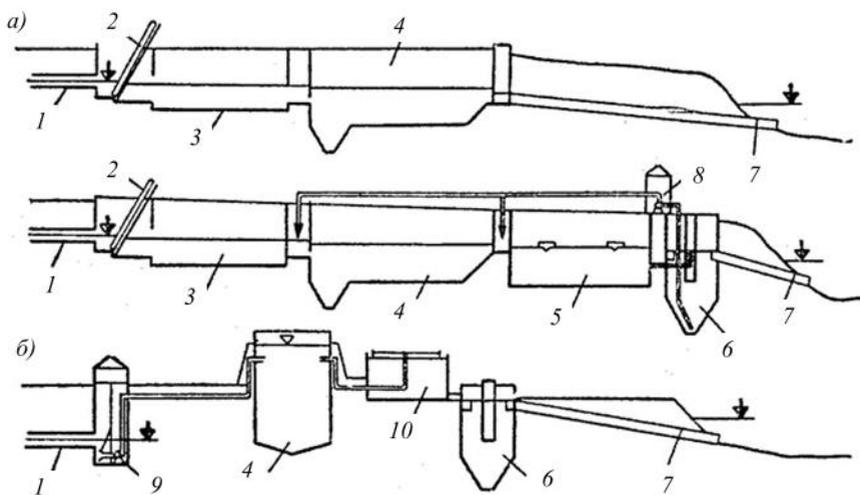


Рисунок 10.11 – Схемы движения сточной воды через очистные сооружения:

*а* – с самотечным движением; *б* – с насосными станциями;

1 – коллектор; 2 – решетки; 3 – песколовки; 4 – первичные отстойники;

5 – аэротенки; 6 – вторичные отстойники; 7 – выпуск в водный объект; 8 – эрлифтная установка для перекачки активного ила; 9 – насосная станция; 10 – биофильтр

Профиль «по илу» (рисунок 10.12) начинается от первичных отстойников, последовательно проходит все сопутствующие сооружения и заканчивается на сооружениях по обезвоживанию осадка.

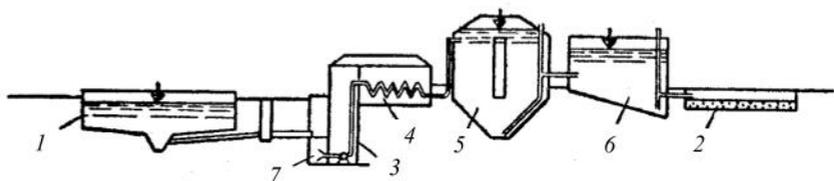


Рисунок 10.12 – Схемы движения осадка на очистных сооружениях:  
 1 – первичный отстойник; 2 – иловые площадки; 3 – насосная станция сырого осадка;  
 4 – теплообменник; 5 – сооружения для сбраживания осадка;  
 6 – сооружения для обезвоживания и обезвреживания осадка; 7 – насосная станция

Рекомендуемые нормативные потери на местные сопротивления представлены в таблице 10.5.

Таблица 10.5 – Перепад уровней на входе и на выходе из отдельных сооружений

Сооружение	Потери напора, м
Решетки	По расчету
Песколовки	0,1–0,25
Отстойники:	
– горизонтальные	0,1–0,25
– радиальные	0,4–0,6
– вертикальные	0,5–0,7
Биофильтры со спринклерной распределительной системой	По расчету: ориентировочно $h + 2,5$ ( $h$ – высота загрузки); по расчету: ориентировочно $h + 1,0$
То же, с реактивной	0,5–0,8
Аэротенки	0,1–0,3
Контактные резервуары	0,4–0,6
Ершовые смесители	По расчету
Выпуск	По расчету, но не менее 1,0–1,5 м
Распределительная чаша (включая водослив на выходе)	По расчету, но не менее 0,25 м
Микрофильтры, барабанные фильтры	0,5–0,6 м
Песчаные фильтры	$h + 2,5$ ( $h$ – высота загрузки)

Для упрощения предварительного построения высотного расположения сооружений, за исключением решеток, потери напора принимаются: половина – на входе в сооружение, а вторая половина – на выходе из него.

Общая величина потери напора на очистных сооружениях зависит от компактности расположения сооружений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Водный** кодекс Республики Беларусь : Закон Респ. Беларусь от 30 апр. 2014 г. № 149-З. – 37 с.

2 **СТБ 1883-2008**. Строительство. Канализация. Термины и определения. – Введ. 2008–09–01. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2008. – 20 с.

3 **СН 4.01.02-2019**. Канализация. Наружные сети и сооружения. Строительные нормы Республики Беларусь. – Взамен ТКП 45-4.01–321–2018; введ. 2019–10–31. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2020. – 81 с.

4 **СН 4.01.02-2019**. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Строительные нормы Республики Беларусь. – Взамен ТКП 45-4.01–320–2018; введ. 2019–10–31. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2020. – 69 с.

5 **ЭкоНнП 17.06.02-002-2021**. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Правила расчета нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод : постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 21.09.2021 № 8-Т. – Минск. – 10 с.

6 О нормативах допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод : постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 26.05.2017 № 16 (ред. от 14.06.2021). – Минск. – 16 с.

7 Об установлении нормативов качества воды поверхностных водных объектов : постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 30.03.2015 № 13. – Минск. – 40 с.

8 **СТБ 17.06.02-03-2015**. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Классификация очистных сооружений сточных вод. – Введ. 2015–05–25. – Минск : Госстандарт Респ. Беларусь, 2015. – 28 с.

9 Об утверждении Правил пользования централизованными системами водоснабжения, водоотведения (канализации) в населенных пунктах : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 30.09.2016 № 788 (ред. от 23.10.2019). – Минск. – 36 с.

10 **Кудина, Е. Ф.** Химия и микробиология воды : учеб. пособие / Е. Ф. Кудина, О. А. Ермолович, Ю. М. Плескачевский ; под ред. Ю. М. Плескачевского, А. С. Неверова. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 335 с.

11 **Дерягин, Б. В.** Микрофлотация. Водоочистка, обогащение / Б. В. Дерягин, С. Н. Духонин, Н. Н. Рулев. – М. : Химия, 1986. – 112 с.

12 **Фролов, Ю. Г.** Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы : учеб. пособие / Ю. Г. Фролов. – М. : Химия, 1982. – 400 с.

13 **Седлухо, Ю. П.** Очистка нефтесодержащих технологических стоков коалесцирующими фильтрами / Ю. П. Седлухо. – Минск : Технопринт, 2002. – 183 с.

14 **Стахов, Е. А.** Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий хранения и транспорта нефтепродуктов / Е. А. Стахов. – Ленинград : Недра, 1983. – 263 с.

15 **Пономарев, В. Г.** Образование и очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов / В. Г. Пономарев, Э. Г. Иоакимис. – М. : Союз Дизайн, 2009. – 352 с.

16 **Роев, Г. А.** Очистка сточных вод и вторичное использование нефтепродуктов / Г. А. Роев, В. А. Юфин. – М. : Недра, 1987. – 224 с.

17 Очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов / Я. А. Карелин [и др.]. – М. : Стройиздат, 1982. – 184 с.

18 Отведение и очистка производственных сточных вод : учеб. пособие / В. С. Дикаревский [и др.]. – Ленинград : Стройиздат, 1990. – 224 с.

19 Физико-химические основы теории флотации / О. С. Богданов [и др.]. – М. : Наука, 1983. – 264 с.

20 Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении / А. М. Когановский [и др.]. – М. : Химия, 1983. – 288 с.

21 **Азерьер, С. Х.** Водоснабжение на железнодорожном транспорте / С. Х. Азерьер, Е. Ф. Тебенихин ; под ред. С. Х. Азерьер. – М. : Государственное транспортное железнодорожное издательство, 1940. – 508 с.

22 **Вольф, И. В.** Химия и микробиология природных и сточных вод : учеб. пособие / И. В. Вольф, Н. И. Ткаченко ; под ред. М. Ф. Максимова. – Ленинград : ЛГУ, 1972. – 239 с.

23 **Дикаревский, В. С.** Водоохранные сооружения на железнодорожном транспорте / В. С. Дикаревский, И. И. Караваев. – М. : Транспорт, 1986. – 211 с.

24 **Каменщиков, Ф. А.** Нефтяные сорбенты / Ф. А. Каменщиков, Е. И. Богомольный. – М. : Ижевск НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005. – 268 с.

25 **Смирнов, А. Д.** Сорбционная очистка воды / А. Д. Смирнов. – Л. : Химия, 1982. – 168 с.

26 Водоотводящие системы промышленных предприятий : учеб. пособие / В. И. Кичигин [и др.]. – М. : АСВ, 2011. – 656 с.

27 **Мелехин, А. Г.** Промышленные системы водоснабжения и водоотведения. Ресурсосберегающие технологии очистки воды : учеб. пособие / А. Г. Мелехин. – Пермь : Перм. нац. исслед. политехн. ун-т, 2014. – 122 с.

28 **Жуков, А. И.** Канализация промышленных предприятий (очистка сточных вод) / А. И. Жуков, И. Л. Монгайт, И. Д. Родзиллер. – М. : Стройиздат, 1962. – 603 с.

29 **Кузубова, Л. И.** Очистка нефтесодержащих сточных вод : анализ. обзор / Л. И. Кузубова, С. В. Морозов. – Новосибирск : СО РАН. ГПНТБ, НИОХ. – 1992. – 72 с.

30 **Ласков, Ю. М.** Очистка производственных стоков / Ю. М. Ласков, Ю. В. Воронов. – М. : Стройиздат, 1985. – 335 с.

31 Очистка производственных сточных вод / С. В. Яковлев [и др.]. – М. : Стройиздат, 1985. – 336 с.

32 **Иванов, В. Г.** Водоснабжение и водоотводящие системы промышленных предприятий : учеб. / В. Г. Иванов, Н. А. Черников. – М. : ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2018. – 740 с.

33 Водоснабжение и водоотведение на железнодорожном транспорте : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / В. С. Дикаревский [и др.]. – М. : Вариант, 1999. – 440 с.

34 **Воронов, Ю. В.** Водоотведение : учеб. / Ю. В. Воронов, В. П. Алексеев. – М. : Инфра-М, 2007. – 415 с.

35 **Яковлев, С. В.** Водоотведение и очистка сточных вод / С. В. Яковлев, Ю. В. Воронов. – М. : 2002. – 697 с.

36 **Тимонин, А. С.** Инженерно-экологический справочник. Т. 3. / А. С. Тимонин. – Калуга : ООО «Ноосфера», 2015. – 960 с.

37 **Новикова, О. К.** Технология очистки сточных вод : учеб. пособие / О. К. Новикова. – Гомель : БелГУТ, 2020. – 301 с.

38 Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности / Совет Экономической Взаимопомощи ; ВНИИ водоснабжения, канализации, гидротехн. сооружений и инж. геологии. – М. : Стройиздат, 1982. – 528 с.

39 **Дерягин, Б. В.** Микрофлотация. Водоочистка, обогащение / Б. В. Дерягин, С. Н. Духонин, Н. Н. Рулев. – М. : Химия, 1986. – 112 с.

40 Справочник проектировщика. Канализация населенных мест и промышленных предприятий / под ред. В. Н. Самохина – М. : Стройиздат, 1981. – 639 с.

41 **Ласков, Ю. М.** Примеры расчета канализационных сооружений / Ю. М. Ласков, Ю. В. Воронов, В. И. Калицун. – М. : Высш. шк., 1984. – 283 с.

42 Отведение и очистка производственных сточных вод железнодорожной станции : метод. указ. к курсовому и дипломному проектированию / В. Г. Иванов [и др.]. – СПб. : ПГУПС, 1996. – 38 с.

43 **Пугачев, Е. А.** Технология эффективного водопользования в промышленности : [монография] / Е. А. Пугачев. – М. : Издательство АСВ, 2011. – 176 с.

44 **Гудков, А. Г.** Механическая очистка сточных вод : учеб. пособие / А. Г. Гудков. – Вологда : ВоГТУ, 2003. – 152 с.

45 **Иванов, В. Г.** Расчет и проектирование тонкослойных отстойников для очистки сточных вод : метод. указ. для курс. и дипл. проект. / В. Г. Иванов, Ю. М. Симононов. – Л. : ЛИИЖТ, 1985. – 24 с.

46 Водоотводящие системы промышленных предприятий / С. В. Яковлев [и др.]. – М. : Стройиздат, 1990. – 511 с.

47 **Мацнев, А. И.** Водоотведение на промышленных предприятиях / А. И. Мацнев. – Львов : Вища шк., 1986. – 206 с.

48 **Ветошкин, А. Г.** Процессы и аппараты защиты гидросферы : учеб. пособие / А. Г. Ветошкин. – Пенза : Пенз. гос. ун-т, 2004. – 188 с.

49 Технический справочник по обработке воды : в 2 т. Т. 1. / под ред. Г. Н. Герасимова. – СПб. : Новый журнал, 2007. – 1775 с.

50 **Роев, Г. А.** Очистка сточных вод и вторичное использование нефтепродуктов / Г. А. Роев, В. А. Юфин. – М. : Недра, 1987. – 224 с.

51 **Бабенков, Е. Д.** Очистка воды коагулянтами / Е. Д. Бабенков. – М. : Наука, 1977. – 356 с.

52 **Гетманцев, С. В.** Очистка производственных сточных вод коагулянтами и флокулянтами / С. В. Гетманцев, И. А. Нечаев, Л. В. Гандурина ; под ред. С. В. Гетманцева. – М. : АСВ, 2008. – 272 с.

53 **Драгинский, В. Л.** Коагуляция в технологии очистки природных вод / В. Л. Драгинский, Л. П. Алексеева, С. В. Гетманцев ; под ред. В. Л. Драгинского. – М. : Наука, 2005. – 571 с.

54 Физико-химические основы теории флотации / О. С. Богданов [и др.]. – М. : Наука, 1983. – 264 с.

55 Новый справочник химика и технолога : в 2 ч. Ч. 1. / С. А. Апостолов [и др.]. – СПб. : НПО «Профессионал», 2002. – 977 с.

56 Канализация промышленных предприятий / А. И. Жуков [и др.]. – М. : Изд-во литературы по стр-ву, 1969. – 374 с.

57 Лукиных, А. А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н. Н. Павловского / А. А. Лукиных, Н. А. Лукиных. – М. : ООО «ИД БАСТЕТ», 2012. – 384 с.

58 Директива Совета ЕЭС 91/271 «Об очистке городских стоков (91/271/ЕЕС)» [Электронный ресурс] : [заключено 21 мая 1991 г.] // Совет ЕЭС. – Режим доступа : [https://ассенизация.рф/documents/183/Директива\\_по\\_очистке\\_городских\\_сточных\\_вод\\_91271\\_ЕЕС\\_от\\_21\\_мая\\_1991\\_года.pdf](https://ассенизация.рф/documents/183/Директива_по_очистке_городских_сточных_вод_91271_ЕЕС_от_21_мая_1991_года.pdf). – Дата доступа : 01.10.2023.

59 Рекомендации 28Е/5 «Очистка городских сточных вод». Рекомендации ХЕЛКОМ от 15.11.2007 N 28Е/5 [Электронный ресурс] : [15 ноября 2007 г.] // Хельсинкская комиссия. – Режим доступа : <https://www.iprosoft.ru/docs/?nd=1200068332&tab=0>. – Дата доступа : 01.10.2023.

60 Справочник Европейского союза по НДТ «Обработка/обращение со сточными водами и отходящими газами в химической промышленности» (European Commission. Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ecoline.ru/wp-content/uploads/bat-collected-articles-1.pdf> – Дата доступа : 01.10.2023.

61 Справочник Европейского союза по НДТ «Отходоперерабатывающая промышленность» (European Commission. Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Treatments Industries) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://ozlib.com/937383/fizika/spravochnik\\_obraschenie\\_othodami\\_pustymi\\_porodami\\_gornodobyvayuschey\\_promyshlennosti](https://ozlib.com/937383/fizika/spravochnik_obraschenie_othodami_pustymi_porodami_gornodobyvayuschey_promyshlennosti). – Дата доступа : 01.10.2023.

62 Рамочная Конвенция ООН об изменении климата [Электронный ресурс] : [г. Нью-Йорк, 9 мая 1992 г.] // Организация Объединенных Наций. – Режим доступа : [https://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/conventions/climate\\_framework\\_conv.shtml](https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/climate_framework_conv.shtml). – Дата доступа : 01.10.2023.

63 Киотский протокол к Рамочной Конвенции ООН об изменении климата [Электронный ресурс] : [г. Киото, 11 декабря 1997 г.] // Организация Объединенных Наций. – Режим доступа : [https://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/conventions/kyoto.shtml](https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/kyoto.shtml). – Дата доступа : 01.10.2023.

64 Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер [Электронный ресурс] : [г. Хельсинки, 17 марта 1992 г.] // Организация Объединенных Наций. – Режим доступа : [https://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/conventions/watercourses\\_lakes.shtml](https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/watercourses_lakes.shtml). – Дата доступа : 01.10.2023.

65 Протокол по проблемам воды и здоровья к Конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер [Электронный ресурс] : [г. Лондон, 17 июня 1999 г.] // Организация Объединенных Наций. – Режим доступа : [https://unece.org/DAM/env/water/publications/brochure/Protocol\\_Final\\_Rus.pdf](https://unece.org/DAM/env/water/publications/brochure/Protocol_Final_Rus.pdf). – Дата доступа : 01.10.2023.

66 Романовский, В. И. Магнитные сорбенты для удаления нефтепродуктов из водных сред / В. И. Романовский, О. Н. Горелая, А. А. Хорт // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. Ч. 1 / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2018. – С. 215–216.

67 **Горелая, О. Н.** Синтез наноструктурированных сорбентов нефтепродуктов из осадков очистки промывных вод фильтров обезжелезивания / О. Н. Горелая, Е. В. Романовская // Проблемы безопасности на транспорте : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. Ч. 1 / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2019. – С. 277–279.

68 **Горелая, О. Н.** Влияние условий синтеза на фазовый состав магнитных сорбентов из осадков станций обезжелезивания / О. Н. Горелая // Инновационные материалы и технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. – Минск : БГТУ, 2020. – С. 258–260.

69 **Николаева, Л. А.** Исследование шлама химводоподготовки в качестве нефтяного сорбента при очистке водных объектов / Л. А. Николаева, Д. А. Хамзина // Вестник технологического университета. – 2018. – Т. 21, №. 2. – С. 200–204.

70 **Романовский, В. И.** Отходы синтетических материалов для очистки нефтесодержащих сточных вод / В. И. Романовский, В. Л. Грузинова // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2018. – № 1. – С. 24–29.

71 Modified activated carbon for deironing of underground water / D. Propolsky [et al.] // Environmental Research. – 2020. – Vol. 182.

72 One-step synthesis of polymetallic nanoparticles in air invironment / V. I. Romanovski [et al.] // Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol. – 2018. – V. 61, N. 9–10. – P. 43–48.

73 **Romanovskii, V. I.** Modified Anthracites for Deironing of Underground Water / V. I. Romanovskii, A. A. Khort // Journal of Water Chemistry and Technology. – 2017. – Vol. 39. – Issue 5. – P. 299–304.

74 Получение каталитических материалов для водоподготовки и очистки сточных вод из отходов станций обезжелезивания / В. И. Романовский [и др.]. // Вода magazine. – 2017. – № 6 (118). – С. 12–15.

75 **Романовский, В. И.** Модифицированные антрациты для очистки подземных вод от железа / В. И. Романовский, А. А. Хорт // Химия и технология воды. – 2017. – Т. 39, № 5. – С. 532–543.

76 **Романовский, В. И.** Железо-цинк-содержащие фотокатализаторы из осадков очистки промывных вод фильтров обезжелезивания / В. И. Романовский, Д. М. Куличик, М. В. Пилипенко // Водоочистка. – 2019. – № 4 (178). – С. 71–77.

77 **Романовский, В. И.** Железо-молибден-содержащие фотокатализаторы из осадков очистки промывных вод фильтров обезжелезивания / В. И. Романовский, Д. М. Куличик, М. В. Пилипенко // Водоочистка. – 2019. – № 6 (180). – С. 73–78.

78 Железосодержащие фотокатализаторы из осадков очистки промывных вод фильтров обезжелезивания / В. И. Романовский [и др.] // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение, 2019. – № 4. – С. 18–22.

79 **Горелая, О. Н.** Магнитный сорбент из отходов водоподготовки для очистки нефтесодержащих сточных вод / О. Н. Горелая, В. И. Романовский // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2020. – № 2. – С. 61–64.

80 **Грузинова, В. Л.** Очистка нефтесодержащих сточных вод локомотивных депо с применением коагулянтов и отходов синтетических материалов [Электронный ресурс] : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.04 / В. Л. Грузинова ; Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2014. – 212 с.

81 **ЭкоНцП 17.01.06-001-2017**. Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности : постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 18.07.2017 № 5-Т (ред. от 29.04.2023). – Минск. – 159 с.

82 Реестр выпусков сточных вод в поверхностные водные объекты Гомельской области [Электронный ресурс] // Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – Режим доступа : <https://minpriroda.gov.by/ru>. Дата доступа: 01.09.2023.

83 СТБ 17.06.02-03–2015. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Классификация очистных сооружений. – Минск : Госстандарт, 2015. – 33 с.

84 **Седлухо, Ю. П.** Экспериментальные исследования очистки сточных вод от биогенных элементов : сб. докл. междунар. науч.-практ. конф. 15 декабря 2006 г. / Ю. П. Седлухо, Т. С. Куприянич. – Кишинев, 2006. – 233 с.

85 Методика выбора и контроля эффективности способа обеззараживания сточных вод для обеспечения безопасности поверхностных водоемов, используемых в рекреационных целях: инструкция по применению: утв. Главным государственным санитарным врачом Респ. Беларусь от 24 ноября 2009 г. № 065-1109. – Минск, 2009. – 24 с.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**  
(справочное)

**КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГРУППЫ ПРИМЕСЕЙ**

Процессы	Технологический способ обработки воды	Область применения по удаляемым загрязнениям	Реагенты и их расход на 1000 м <sup>3</sup> воды	Очистные сооружения	Степень очистки
I группа					
Механическое безреагентное разделение	Отстаивание	Грубодисперсные примеси до 500 мг/г, цветность до 50 град	–	Водозаборные ковши, отстойники	60–70 %
	Фильтрование	Взвешенные вещества до 50 мг/дм <sup>3</sup> , цветность 50 град	–	Медленные фильтры	95–99 % микроорганизмов, мутность для нормативов, установленных стандартом
		Взвешенные вещества до 1000 мг/дм <sup>3</sup> , цветность 50 град	–	Предварительные фильтры	60–80 %
	Микропроцеживание	Планктон более 1000 кл/см и взвешенные вещества	–	Микрофильтры	70–95 %

Продолжение приложения А

Процессы	Технологический способ обработки воды	Область применения по удаляемым загрязнениям	Реагенты и их расход на 1000 м <sup>3</sup> воды	Очистные сооружения	Степень очистки
Адгезия на высокодисперсных и зернистых материалах, а также на гидроксидах алюминия и железа	Фильтрация через намывной слой вспомогательного вещества	Тонкодисперсные взвешенные вещества соединений железа и марганца и необходимость их тщательного удаления	Диатомит, трепел, асбест-целлюлоза, активированный уголь и др. (1–60 кг)	Диатомитовые и другие намывные фильтры	По мутности до норм, установленных стандартом
	Фильтрация с использованием явления контактной коагуляции	Взвешенные вещества до 150 мг/г цветностью до 150 град	Коагулянты: серно-кислый алюминий, алюминий, хлорное железо (10–120 кг) Флокулянты: полиакриламид (0,2–0,6 кг), активная кремниевая кислота (1–2,0 кг)	Установки для приготовления и дозирования растворов реагентов, контактные осветлители или контактные фильтры	До норм, установленных стандартом
	Обработка высокодисперсными глинистыми минералами с последующим отстаиванием и фильтрованием	Патогенные бактерии, споры	Минералы: палльгорскит, монтмориллонит и др. (100–500 кг) Флокулянты: полиакриламид (0,015–0,7 кг)	Установки для приготовления и дозирования суспензий глинистых минералов, смесители, отстойники, фильтры	98,0–99,9 %

	Обработка воды коагулянтами с последующим удалением взвешенных веществ отстаиванием, фильтрованием	Взвешенные вещества и цветность воды ограничены, патогенные бактерии, споры	Коагулянты: серно-кислый глинозем (40–250 кг) и хлорное или серное железо (20–150 кг); реагенты для подщелачивания, известь, сода	Установки для приготовления и дозирования растворов, реагентов, смесителей, камеры хлопьеобразования, осветлители или отстойники, фильтры	До норм, установленных стандартом
Агрегация с помощью флокулянтов	Обработка воды коагулянтами с применением флокулянтов и последующим отстаиванием, фильтрованием	То же	То же и флокулянты; активная кремниевая кислота (2–20 % дозы безводного коагулянта) или полиакриламид (0,01–0,3 количества взвешенных веществ	То же и установки для приготовления и дозирования растворов флокулянтов	То же
Флотация	Безреагентная флотация	Нефть и масла (50–150 г/м)	Воздух (50–500 м)	Флотаторы и устройства для диспергирования воздуха	90 %

Продолжение приложения А

Процессы	Технологический способ обработки воды	Область применения по удаляемым загрязнениям	Реагенты и их расход на 1000 м <sup>3</sup> воды	Очистные сооружения	Степень очистки
Флотация	Флотация с применением реагентов	Нефть и масла (50–150 г/м), при необходимости глубокой очистки	То же и добавка жирных спиртов (10 кг), сернокислого алюминия или хлорного железа (20–50 кг), активной кремниевой кислоты (10 кг)	Флотаторы и устройства для диспергирования воздуха	95–99 %
Бактерицидное воздействие на патогенные микроорганизмы	Обработка воды окислителями: хлорирование	Бактериальное загрязнение	Хлор (10–20 кг) или диоксид хлора (1–5 кг) Поваренная соль (10–100 кг), электроэнергия (50–100 кВт·ч)	Склады хлора, хлораторы, смесители, контейнеры, установки для углерода Склады соли, гипохлоридные установки, смесители, контактные резервуары	Получение воды стандартного качества  То же
	Озонирование	То же	Озон (0,5–4 кг)	Озонаторные установки с цехами подготовки воздуха и устройствами для введения озона в воду	То же

	Обеззараживание и консервирование воды ионами серебра и других тяжелых металлов	То же, при необходимости длительного хранения	Металлическое серебро (0,05–0,5 кг), медь (0,2–1 кг), электроэнергия (0,4–5 кВт·ч)	Ионаторы типа ЛК, резервуары для хранения воды	То же
	Обработка воды: – ультразвуком	Патогенные бактерии, споры и др.	Электроэнергия (200–400 кВт·ч)	Ультразвуковые установки	95 %
	– ультрафиолетовыми лучами	То же, при небольшом содержании взвешенных веществ	Электроэнергия (50–100 кВт·ч)	Бактерицидные установки с лампами: РКС-2,5; ПРК-7; БУВ-30 и др.	98–99 %
II группа					
Окисление хлором, озоном и др.	Хлорирование	Повышенное содержание в воде коллоидных и высокомолекулярных соединений, обуславливающих окисляемость и цветность воды (35–200 град), загрязнение воды вирусами	Хлор (10–20 кг) или диоксид хлора (1–5 кг)	Склады хлора, хлораторы, смесители, контактные резервуары, установки для получения диоксида хлора	Вода стандартного качества
	Озонирование	То же	Озон (0,5–20 кг)	Озонаторные установки с цехами подготовки воздуха и устройствами для введения озона в воду	То же

Продолжение приложения А

Процессы	Технологический способ обработки воды	Область применения по удаляемым загрязнениям	Реагенты и их расход на 1000 м <sup>3</sup> воды	Очистные сооружения	Степень очистки
Адсорбция на гидроксидах алюминия или железа, а также на высокомолекулярных глинистых минералах	Коагуляция в свободном объеме: обработка воды коагулянтами с последующим удалением взвешенных веществ	Повышенное содержание в воде коллоидных и высокомолекулярных соединений, обуславливающих окисляемость и цветность воды (35–200 град)	Коагулянты: серно-кислый глинозем (40–200 кг), хлорное или серно-кислое железо (30–200 кг) Флокулянты: активная кремниевая кислота (0,1–2 кг), полиакриламид (0,2–0,6); для подщелачивания – известь, соли, едкий натр	Устройства для приготовления растворов реагентов и их дозирование, смесители, камеры хлопьеобразования, отстойники или осветлители, фильтры	Получение воды стандартного качества
	Обработка воды высокодисперсными замутнителями и коагулянтами	То же, при низкой температуре и малой мутности воды; при высокой загрязненности воды вирусами	То же, с добавлением бентонита, палыгорскита (50–200 кг) и других глинистых минералов	То же и устройства для обработки воды замутнителями	То же

	Контактная коагуляция	Коллоидные и высокомолекулярные вещества, обуславливающие цветность воды (35–150 град) при малой мутности последней	Коагулянт – серно-кислый глинозем Флокулянты: полиакриламид (0,2–0,6 кг), активная кремниевая кислота (0,1–2,0 кг)	Устройства для приготовления растворов реагентов и их дозирование, смесители и контактные осветлители	То же
Агрегация с помощью флокулянтов катионного типа	Обработка воды катионными флокулянтами	То же	Высокомолекулярные полиэлектролиты катионного типа ВА-2, ВА-3 и др. (5–15 кг)	Устройства для приготовления растворов флокулянтов, их дозирования; камеры хлопьеобразования, отстойники, фильтры	То же
Вируленицидное воздействие	Обработка воды окислителями: – хлорирование	Загрязнение воды вирусами	Хлор (10–20 кг), диоксид хлора (1–10 кг), поваренная соль (10–100 кг), электроэнергия (50–100 кВт·ч)	Склады хлора, хлораторы, смесители, контактные резервуары, установки для получения диоксида хлора. Склады соды, электролитические гипохлоритные установки, смесители, контактные резервуары	–
	– озонирование	То же	Озон (0,5–4 кг)	Озонаторные установки с цехами подготовки воздуха и устройствами для введения озона в воду	

Продолжение приложения А

Процессы	Технологический способ обработки воды	Область применения по удаляемым загрязнениям	Реагенты и их расход на 1000 м <sup>3</sup> воды	Очистные сооружения	Степень очистки
Вируленидное воздействие	Обеззараживание и консервирование воды ионами серебра и другими тяжелыми металлами	То же, при небольшом содержании вирусов и необходимости длительного хранения воды	Серебро металлическое (0,05–0,5 кг), медь (0,2–1 кг), электроэнергия (0,4–5 кВт·ч)	–	–
	Обработка воды: – ультразвуком	Загрязнение воды вирусами	Электроэнергия (200–400 кВт·ч)	Ультразвуковые установки	95 %
	– ультрафиолетовыми лучами	То же, при небольшом содержании взвешенных веществ	Электроэнергия (50–100 кВт·ч)	Бактерицидные установки с лампами: РКС-2,5; ПРК-7; БУВ-30 и др.	98–99,9 %
III группа					
Десорбция газов и летучих органических соединений при аэрировании	Аэрирование	Газы и летучие органические соединения, придающие неприятные привкусы и запахи	2 л воздуха на 1 г двухвалентного железа	Брызгальные бассейны, аэраторы и дегазаторы различного типа	Углекислоты 65–80 %, сероводород до 0,3–0,5 мг/дм <sup>3</sup>

Окисление хлором, озоном, перманганатом и др.	Обработка воды перманганатом калия	Удаление привкусов и запахов при незначительном загрязнении и отсутствии в воде марганца	Перманганат калия (3–10 кг)	Установки для приготовления и дозирования раствора перманганата калия	То же
	Хлорирование	Сероводород (0,3–0,5 мг), доочистка после аэрирования, летучие органические соединения, придающие воде неприятные привкусы и запахи	На 1 кг водорода при окислении до серы – 2,1 кг Cl <sub>2</sub> , до сульфатов – 8,4 кг Cl <sub>2</sub> . На 1 кг фенола – 1,5–10 кг Cl <sub>2</sub> или 0,5–1,2 кг ClO <sub>2</sub>	Хлораторы, смесители, установки для получения и дозирования диоксида хлора	Отсутствие сероводорода; уменьшение содержания органических соединений
	Озонирование	Для удаления привкусов и запахов не очень загрязненной воды и при малой эффективности хлорирования и углевания	Озон (2–4 кг)	Озонаторные установки с цехами подготовки воздуха и устройствами для введения озона в воду	В зависимости от природы удаляемых загрязнений
Адсорбция на активированном угле и других материалах	Углевание	Неприятные запахи и привкусы естественного происхождения, а также вносимые со сточными водами	Уголь марок БАУ А, ОУ-сухой, КАД-пылевидный (5–20 кг)	Установки для приготовления, дозирования и смешения с водой угольной суспензии	80–95 %
	Очистка воды на угольных фильтрах и в адсорберах со взвешенным слоем угля	Привкус и запахи; присутствие в сточных водах ароматических веществ	Гранулированный уголь, для регенерации фильтров используют едкий натр либо осуществляют парогазовую регенерацию во взвешенном слое	Угольные фильтры, устройства для приготовления регенерационных растворов, адсорберы со взвешенным слоем, печи для активирования и регенерации углей	80–95 %

Продолжение приложения А

Процессы	Технологический способ обработки воды	Область применения по удаляемым загрязнениям	Реагенты и их расход на 1000 м <sup>3</sup> воды	Очистные сооружения	Степень очистки
Экстракция органическими растворителями	Обесфеноливание	Наличие в сточных водах фенолов	Бутилацетат, этилацетат, бензол и др.	Экстракционные установки	–
Эвапорация (выпаривание)	Пароциркуляционный метод	То же	–	Установки для возгонки	–
	Азеотронная отгонка	То же	–	То же	–
Биохимический распад	Разложение микроорганизмами: – аэробное	Загрязнение сточных вод	Активный ил, биопленка, воздух	Аэротенки, биофильтры, отстойники	90–98 %
	– анаэробное	Кондиционированные осадки	Биомасса	Метантенки и др.	90–98 %
IV группа					
Образование комплексных соединений	Стабилизация	–	Один из реагентов; гексметафосфат натрия, тринатрий фосфат (2–4 кг)	То же	Предотвращение накипеобразования и коррозии

Перевод ионов в малодиссоциированные соединения: нейтрализация	Подщелачивание или подкисление воды	Повышенная кислотность или щелочность воды (рН = 6,5 или рН = 8,5)	На 1 кг-экв удаляемой кислотности или щелочности воды один из реагентов: известь (28 кг), сода (53 кг), едкий натр (40 кг), серная кислота (49 кг), соляная кислота (36,5 кг)	Установки для приготовления и дозирования растворов реагентов, смесители	До необходимой величины
Перевод ионов в малодиссоциированные соединения: – образование малорастворимых солей;	Умягчение: – термический способ	Жесткость с преобладанием СаНСО <sub>3</sub> , не карбонатная только в виде гипса; мутность меньше 50 мг/дм <sup>3</sup>	Нагревание	Термоумягчители (системы Копьева и др.)	Карбонатная жесткость до 0,035 мг-экв/дм <sup>3</sup>
	– содово-фосфатный способ	Жесткость 5–30 мг-экв/ дм <sup>3</sup>	Сода (53 кг на 1 кг-экв карбонатной жесткости)	Смесители, вихревые реакторы установок специальных конструкций	До 0,7–1 мг-экв/дм <sup>3</sup>

Продолжение приложения А

Процессы	Технологический способ обработки воды	Область применения по удаляемым загрязнениям	Реагенты и их расход на 1000 м <sup>3</sup> воды	Очистные сооружения	Степень очистки
– образование мало-растворимых солей	– фосфатный способ	После проведения умягчения воды до 2 мг-экв/дм <sup>3</sup>	Тринатрийфосфат, динатрийфосфат (до 126,5 кг на 1 кг-экв удаляемой жидкости)	Смесители, вихревые реакторы установок специальных конструкций	До 0,04–0,05 мг-экв/дм <sup>3</sup>
	Обескремнивание	Повышенное для котловой воды количество	Каустический магnezит, магниезиальный сорбент (10–15 кг на 4 кг)	Осветлители, фильтры	До 1–1,5 и до 0,05–0,1 мг/дм <sup>3</sup>
– образование мало-растворимых гидратов окислов	Удаление цветных и тяжелых металлов, а также магниезиной жесткости	Содержание ионов металлов выше норм, допустимых для сточных вод Умягчение воды, содержащей значительное количество магния	Известь (28 кг), едкий натр (40 кг) на 1 кг-экв ионов	Установки для приготовления и дозирования растворов, смесители или осветлители, фильтр-прессы	До пределов растворимости гидроксидов
– окисление закисных форм металлов с образованием гидроксидов	Обезжелезивание и удаление марганца: – аэрирование или хлорирование	Бикарбонат железа до 25 мг/дм <sup>3</sup> ; щелочность до 2 мг-экв/дм <sup>3</sup> , окисляемость до 6 мг на 1 дм <sup>3</sup> кислорода; повышенное содержание марганца	Воздух, хлор (0,7Cl на 1 кг двухвалентного железа)	Брызгальные бассейны, градирни, контактные резервуары, осветлительные и контактные фильтры	Железо до 0,1–0,3 мг/дм <sup>3</sup> , марганец до 0,1–0,2 мг/дм <sup>3</sup>

	– окисление на катализаторах	То же	–	Фильтры с песком, покрытым окислами марганца или продуктами окисления закисного железа	То же
Фиксация ионов на твердой фазе: – Н-, а-катионировании	Умягчение	Жесткость до 14 мг-экв/дм <sup>3</sup> , взвешенные вещества до 10–15 мг/дм <sup>3</sup> (при использовании неподвижного катионита)	Катионит: крупный сульфогль КУ-1, КУ-2, КБ-4. для регенерации используют хлористый натрий (150–220 кг), серную (72 кг) и соляную (56 кг) кислоты	Катионитовые фильтры, адсорберы со взвешенным слоем катиониты, установки для приготовления и дозирования регенерационных растворов	До 0,005–0,05 мг-экв/дм <sup>3</sup>
	Извлечение ионов цветных металлов	Содержание ионов металлов выше норм, допустимых для сточных вод	То же, на 1 кг-экв удаляемого металла	То же	То же
– ОН-анионирование	Опреснение	Общее содержание до 3–4 г/дм <sup>3</sup> ; содержание извести до 8 мг/дм <sup>3</sup> ; цветность до 30 град	Катиониты Аниониты АН-2ф, ЭДЭ 10П, АВ-17, АБ-16. Для регенерации используют один из реагентов: едкий натр (80 кг), соду (90–120 кг), бикарбонат натрия (140–170 кг) на 1 кг-экв удаленных анионов	Ионообменные фильтры, дегазаторы, установки для приготовления и дозирования регенерационных растворов	17–90 %; солесодержание до 500–1000 мг/дм <sup>3</sup>

Окончание приложения А

Процессы	Технологический способ обработки воды	Область применения по удаляемым загрязнениям	Реагенты и их расход на 1000 м <sup>3</sup> воды	Очистные сооружения	Степень очистки
– ОН-анионирование	Обессоливание	Общее содержание до 3–4 г/дм <sup>3</sup> ; содержание извести до 8 мг/дм <sup>3</sup> ; цветность до 30 град	Катиониты Аниониты АН-2ф, ЭДЭ 10П, АВ-17, АВ-16. Для регенерации используют один из следующих реагентов: едкий натр (80 кг), соду (90–120 кг), бикарбонат натрия (140–170 кг) на 1 кг-экв удаленных анионов	Ионообменные фильтры, дегазаторы, установки для приготовления и дозирования регенерационных растворов	99,5–99,9 %; солесодержание до 1–15 мг/дм <sup>3</sup>
– удаление фтора	Обесфторивание	Содержание ионов фтора более 1,5 мг/дм <sup>3</sup>	Серно-кислый алюминий (10–50 кг) на 1 кг фтора	Фильтры, загруженные активированным оксидом алюминия	До норм стандарта
Сепарация ионов при различном фазовом состоянии воды: – перевод в газообразное состояние	Дистилляция	Общее солесодержание 20–36 г/дм <sup>3</sup>	Пар, топливо, солнечная и атомная энергия	Испарители различных типов, термокомпрессорные агрегаты, гелиоопреснители, двухцелевые атомные установки	99,9 % или до 20–50 мг/дм <sup>3</sup>

– отделение ионов обратным осмосом	Гиперфльтрация	То же	5–10 кВт·ч на 1 м <sup>3</sup>	Установки с полупроницаемыми мембранами	500–1000 мг/дм <sup>3</sup>
– перераспределение ионов в несмешивающихся жидкостях	Экстракция	Солесодержание 2–10 г/дм <sup>3</sup> , отсутствие солей кальция и магния	Вторичные и третичные амины 2,4 кг	Экстракционные и ректификационные колонны	95–99 %
– перевод воды в твердую фазу	Опреснение вымораживанием	Солесодержание до 35 г/дм <sup>3</sup>	Различные хладагенты, естественный холод	Установки с использованием искусственного холода, площадки для вымораживания	87–92 %
	Газгидратное опреснение	То же	Углеводороды с числом атомов углерода 1–4, их галлоидные дериваты-фреоны и др. (потери реагентов обусловлены утечкой)	Газогидратные установки, включающие реактор-гидрообразователь, отделитель и узел плавления гидратов	До 99 %
Использование подвижности ионов в электрическом поле	Электродиализ	Общее солесодержание 3–10 г/дм <sup>3</sup> , мутность до 2 мг/дм <sup>3</sup> , содержание железа до 0,3 мг/дм <sup>3</sup>	Расход электроэнергии 5–20 кВт·ч на 1 м <sup>3</sup> опресненной воды	Установки для электрохимического обессоливания воды	До 500–1000 мг/дм <sup>3</sup>

*ПРИЛОЖЕНИЕ Б*  
*(справочное)*

**САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕЩЕСТВ, ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ**

*Таблица Б.1 – Перечень нормируемых загрязняющих веществ в составе сточных вод*

№ п/п	Вид сточных вод	Отрасль экономики	Наименование загрязняющего вещества (показателя качества)
1	Хозяйственно-бытовые сточные воды, а также их смесь с другими видами сточных вод	–	Водородный показатель (рН). Биохимическое потребление кислорода (далее – БПК <sub>5</sub> ). Химическое потребление кислорода, бихроматная окисляемость (далее – ХПК <sub>Cr</sub> ). Взвешенные вещества. Аммоний-ион. Азот общий <sup>1</sup> . Фосфор общий <sup>1</sup> . Минерализация. Хлорид-ион. Сульфат-ион. СПАВ анионоактивные. Специфические загрязняющие вещества (для городских сточных вод) <sup>2</sup> .

2	Производственные сточные воды	Сельское хозяйство	<p>Водородный показатель (рН).  БПК<sub>5</sub>.  ХПК<sub>Cr</sub>.  Взвешенные вещества.  Аммоний-ион.  Азот общий.  Фосфор общий.  Минерализация.  Хлорид-ион.  Сульфат-ион.  СПАВ анионоактивные.  Специфические загрязняющие вещества<sup>3)</sup></p>
		Рыбное хозяйство	<p>Водородный показатель (рН).  БПК<sub>5</sub>.  ХПК<sub>Cr</sub>.  Взвешенные вещества.  Аммоний-ион.  Нитрат-ион.  Нитрит-ион.  Фосфор общий.  Минерализация.  Специфические загрязняющие вещества<sup>3)</sup></p>
		Горнодобывающая промышленность	<p>Водородный показатель (рН).  БПК<sub>5</sub>.  ХПК<sub>Cr</sub>.  Взвешенные вещества.  Минерализация.  Хлорид-ион.  Специфические загрязняющие вещества<sup>3)</sup></p>

Продолжение таблицы Б.1

№ п/п	Вид сточных вод	Отрасль экономики	Наименование загрязняющего вещества (показателя качества)
2	Производственные сточные воды	Производство продуктов питания, напитков и табачных изделий	Водородный показатель (рН). БПК <sub>5</sub> . ХПК <sub>Cr</sub> . Взвешенные вещества. Аммоний-ион. Азот общий. Фосфор общий. Минерализация. Хлорид-ион. Сульфат-ион. СПАВ анионоактивные. Специфические загрязняющие вещества <sup>3)</sup>
		Производство деревянных и пробковых изделий, кроме мебели	Водородный показатель (рН). БПК <sub>5</sub> . ХПК <sub>Cr</sub> . Взвешенные вещества. Аммоний-ион и(или) азот общий. Фосфор общий. Минерализация. Хлорид-ион. Сульфат-ион. СПАВ анионоактивные. Нефтепродукты. Фенолы летучие (фенольный индекс). Формальдегид. Метанол (метиловый спирт). Специфические загрязняющие вещества <sup>3)</sup>

	Производство химических продуктов	Водородный показатель (рН). БПК <sub>5</sub> . ХПК <sub>Cr</sub> .
	Производство кокса и продуктов нефтепереработки	Взвешенные вещества. Аммоний-ион. Азот общий. Фосфор общий.
	Производство резиновых и пластмассовых изделий	Минерализация. Хлорид-ион. Сульфат-ион. Нефтепродукты. Специфические загрязняющие вещества <sup>3)</sup>
	Производство текстильных изделий, одежды, изделий из кожи и меха	Водородный показатель (рН). БПК <sub>5</sub> . ХПК <sub>Cr</sub> .
	Производство целлюлозы, бумаги и изделий из бумаги	Взвешенные вещества. Аммоний-ион и(или) азот общий. Фосфор общий.
	Полиграфическая деятельность и тиражирование записанных носителей информации	Минерализация. Хлорид-ион. Сульфат-ион.
	Производство основных фармацевтических продуктов и фармацевтических препаратов	Нефтепродукты. СПАВ анионоактивные. Специфические загрязняющие вещества <sup>3)</sup>
	Производство прочих неметаллических минеральных продуктов	Водородный показатель (рН). БПК <sub>5</sub> . ХПК <sub>Cr</sub> . Взвешенные вещества. Минерализация. Хлорид-ион. Сульфат-ион

Окончание таблицы Б.1

№ п/п	Вид сточных вод	Отрасль экономики	Наименование загрязняющего вещества (показателя качества)
2	Производственные сточные воды	Металлургическое производство	Водородный показатель (рН). БПК <sub>5</sub> . ХПК <sub>Cr</sub> . Взвешенные вещества. Аммоний-ион. Нитрит-ион. Фосфор общий. Минерализация. Хлорид-ион. Сульфат-ион. Нефтепродукты. СПАВ анионоактивные. Специфические загрязняющие вещества <sup>3)</sup>
		Производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	
		Производство вычислительной, электронной и оптической аппаратуры	
		Производство электрооборудования	
		Производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки	
		Производство транспортных средств и оборудования	
		Снабжение электроэнергией, газом, паром, горячей водой и кондиционированным воздухом	Водородный показатель (рН). Температура. БПК <sub>5</sub> . ХПК <sub>Cr</sub> . Взвешенные вещества. Аммоний-ион. Фосфор общий. Минерализация. Хлорид-ион. Сульфат-ион. Нефтепродукты. Специфические загрязняющие вещества <sup>3)</sup>

		Сбор, обработка и распределение воды (деятельность по водоснабжению)	Водородный показатель (рН). БПК <sub>5</sub> . ХПК <sub>Cr</sub> . Взвешенные вещества. Железо общее. Минерализация. Хлорид-ион. Специфические загрязняющие вещества <sup>3)</sup>
		Прочие отрасли экономики	Водородный показатель (рН). БПК <sub>5</sub> . ХПК <sub>Cr</sub> . Взвешенные вещества. Фосфор общий. Аммоний-ион. Минерализация. СПАВ анионоактивные. Нефтепродукты. Специфические загрязняющие вещества <sup>3)</sup>
3	Поверхностные сточные воды	–	Водородный показатель (рН). Нефтепродукты. Взвешенные вещества. Специфические загрязняющие вещества в составе поверхностных сточных вод, отводимых с территорий промышленных площадок <sup>2), 3), 4)</sup>
<sup>1)</sup> При эквиваленте населения (массе органических веществ в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения) более 2000 человек (от 120 кг/сут). <sup>2)</sup> Исходя из условий приема производственных сточных вод в систему канализации населенных пунктов. <sup>3)</sup> Согласно утвержденной в установленном порядке проектной документации, техническим регламентам. <sup>4)</sup> При отведении в сети дождевой канализации поверхностных сточных вод совместно с производственными сточными водами			

Таблица Б.2 – Допустимые значения показателей и концентраций загрязняющих веществ в составе производственных сточных вод

№ п/п	Вид экономической деятельности	Значение показателей и концентраций загрязняющих веществ в составе производственных сточных вод исходя из достигаемой эффективности их удаления
1	Рыбоводство: – прудовые форелевые хозяйства	БПК <sub>5</sub> – 8 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ХПК <sub>Cr</sub> – 65 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> Взвешенные вещества – 21 мг/дм <sup>3</sup> Аммоний-ион – 0,5 мгN/дм <sup>3</sup> Нитрат-ион – 1 мгN/дм <sup>3</sup> Нитрит-ион – 0,1 мгN/дм <sup>3</sup> Фосфор общий – 0,6 мг/дм <sup>3</sup>
	– прудовые карповые хозяйства	БПК <sub>5</sub> – 15 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ХПК <sub>Cr</sub> – 100 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> Взвешенные вещества – 33 мг/дм <sup>3</sup> Аммоний-ион – 1,0 мгN/дм <sup>3</sup> Нитрат-ион – 3,0 мгN/дм <sup>3</sup> Нитрит-ион – 0,2 мгN/дм <sup>3</sup> Фосфор общий – 1 мг/дм <sup>3</sup>
	– прочие биологические ресурсы	БПК <sub>5</sub> – 20 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ХПК <sub>Cr</sub> – 100 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> Взвешенные вещества – 33 мг/дм <sup>3</sup> Аммоний-ион – 1,0 мгN/дм <sup>3</sup> Нитрат-ион – 3,0 мгN/дм <sup>3</sup> Нитрит-ион – 0,2 мгN/дм <sup>3</sup> Фосфор общий – 0,6 мг/дм <sup>3</sup>
2	Переработка и консервирование мяса и производство мясной и мясосодержащей продукции. Переработка и консервирование рыбы, ракообразных и моллюсков	БПК <sub>5</sub> – 25 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ХПК <sub>Cr</sub> – 120 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> Взвешенные вещества – 35 мг/дм <sup>3</sup> Аммоний-ион – 10 мгN/дм <sup>3</sup> Азот общий – 25 мг/дм <sup>3</sup> Фосфор общий – 3 мг/дм <sup>3</sup>
3	Переработка и консервирование фруктов и овощей	БПК <sub>5</sub> – 25 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ХПК <sub>Cr</sub> – 150 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> Взвешенные вещества – 35 мг/дм <sup>3</sup> Аммоний-ион – 10 мгN/дм <sup>3</sup> Азот общий – 20 мг/дм <sup>3</sup> Фосфор общий – 3 мг/дм <sup>3</sup>

Продолжение таблицы Б.2

№ п/п	Вид экономической деятельности	Значение показателей и концентраций загрязняющих веществ в составе производственных сточных вод исходя из достигаемой эффективности их удаления
4	Производство растительных и животных масел и жиров	БПК <sub>5</sub> – 30 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ХПК <sub>Cr</sub> – 180 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> Взвешенные вещества – 30 мг/дм <sup>3</sup> Аммоний-ион – 12 мгN/дм <sup>3</sup> Азот общий – 30 мг/дм <sup>3</sup> Фосфор общий – 4,0 мг/дм <sup>3</sup>
5	Производство молочных продуктов	БПК <sub>5</sub> – 25 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ХПК <sub>Cr</sub> – 120 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> Взвешенные вещества – 30 мг/дм <sup>3</sup> Аммоний-ион – 10 мгN/дм <sup>3</sup> Азот общий – 20 мг/дм <sup>3</sup> Фосфор общий – 5 мг/дм <sup>3</sup>
6	Производство сахара	БПК <sub>5</sub> – 25 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ХПК <sub>Cr</sub> – 200 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> Взвешенные вещества – 35 мг/дм <sup>3</sup> Аммоний-ион – 10 мгN/дм <sup>3</sup> Азот общий – 30 мг/дм <sup>3</sup> Фосфор общий – 3 мг/дм <sup>3</sup>
7	Производство готовых кормов для животных	БПК <sub>5</sub> – 25 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ХПК <sub>Cr</sub> – 100 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> Взвешенные вещества – 30 мг/дм <sup>3</sup> Аммоний-ион – 10 мгN/дм <sup>3</sup> Азот общий – 20 мг/дм <sup>3</sup> Фосфор общий – 3 мг/дм <sup>3</sup>
8	Производство напитков	БПК <sub>5</sub> – 25 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ХПК <sub>Cr</sub> – 100 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> Взвешенные вещества – 25 мг/дм <sup>3</sup> Аммоний-ион – 10 мгN/дм <sup>3</sup> Азот общий – 20 мг/дм <sup>3</sup> Фосфор общий – 3 мг/дм <sup>3</sup>
9	Производство крахмала и продуктов из крахмала	БПК <sub>5</sub> – 25 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ХПК <sub>Cr</sub> – 100 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> Взвешенные вещества – 35 мг/дм <sup>3</sup> Аммоний-ион – 10 мгN/дм <sup>3</sup> Азот общий – 20 мг/дм <sup>3</sup> Фосфор общий – 3 мг/дм <sup>3</sup>
10	Подготовка и кардное прядение шерстяных волокон	БПК <sub>5</sub> – 10 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ХПК <sub>Cr</sub> – 150 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> Взвешенные вещества – 30 мг/дм <sup>3</sup> Азот общий – 40 мг/дм <sup>3</sup> Аммоний-ион – 25 мгN/дм <sup>3</sup>

Продолжение таблицы Б.2

№ п/п	Вид экономической деятельности	Значение показателей и концентраций загрязняющих веществ в составе производственных сточных вод исходя из достигаемой эффективности их удаления
11	Подготовка и прядение текстильных волокон (за исключением подготовки и кардного прядения шерстяных волокон; подготовки и гребенного прядения шерстяных волокон)	БПК <sub>5</sub> – 25 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ХПК <sub>Cr</sub> – 160 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> Взвешенные вещества – 35 мг/дм <sup>3</sup> Аммоний-ион – 10 мгN/дм <sup>3</sup> Азот общий – 20 мг/дм <sup>3</sup> Фосфор общий – 3 мг/дм <sup>3</sup> Сульфит-ион – 1 мг/дм <sup>3</sup>
12	Дубление и выделка кожи, выделка и крашение меха	БПК <sub>5</sub> – 25 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ХПК <sub>Cr</sub> – 200 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> Взвешенные вещества – 30 мг/дм <sup>3</sup> Аммоний-ион – 10 мгN/дм <sup>3</sup> Азот общий – 25 мг/дм <sup>3</sup> Хром общий – 0,5 мг/дм <sup>3</sup> Фосфор общий – 3 мг/дм <sup>3</sup> Адсорбируемые органически связанные галогены (АОХ) – 0,1 мг/дм <sup>3</sup>
13	Производство целлюлозы, бумаги и изделий из бумаги	БПК <sub>5</sub> – 30 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ХПК <sub>Cr</sub> – 200 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> Взвешенные вещества – 40 мг/дм <sup>3</sup> Азот общий – 10 мг/дм <sup>3</sup> Аммоний-ион – 6 мгN/дм <sup>3</sup> Фосфор общий – 3 мг/дм <sup>3</sup> Адсорбируемые органически связанные галогены (АОХ) – 5,5 мг/дм <sup>3</sup> или 0,2 кг/т высушенной целлюлозы
14	Полиграфическая деятельность и предоставление услуг в данной области	БПК <sub>5</sub> – 30 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ХПК <sub>Cr</sub> – 150 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> Взвешенные вещества – 30 мг/дм <sup>3</sup> Азот общий – 50 мг/дм <sup>3</sup> Аммоний-ион – 32 мгN/дм <sup>3</sup> Фосфор общий – 3 мг/дм <sup>3</sup> Железо общее – 3 мг/дм <sup>3</sup> Алюминий – 3 мг/дм <sup>3</sup> Нефтепродукты – 1 мг/дм <sup>3</sup>
15	Производство кокса и продуктов нефтепереработки (за исключением производства торфяных брикетов; производства брикетов из лигнита, каменного и бурого угля)	БПК <sub>5</sub> – 30 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ХПК <sub>Cr</sub> – 100 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> Взвешенные вещества – 30 мг/дм <sup>3</sup> Азот общий – 40 мг/дм <sup>3</sup> Аммоний-ион – 25 мгN/дм <sup>3</sup> Фосфор общий – 2 мг/дм <sup>3</sup> Нефтепродукты – 1 мг/дм <sup>3</sup>

Продолжение таблицы Б.2

№ п/п	Вид экономической деятельности	Значение показателей и концентраций загрязняющих веществ в составе производственных сточных вод исходя из достигаемой эффективности их удаления
16	Производство красителей и пигментов	БПК <sub>5</sub> – 20 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ХПК <sub>Cr</sub> – 150 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> Взвешенные вещества – 30 мг/дм <sup>3</sup> Аммоний-ион – 10 мгN/дм <sup>3</sup> Азот общий – 20 мг/дм <sup>3</sup> Сульфит-ион – 20 мг/дм <sup>3</sup>
17	Производство удобрений и азотных соединений	БПК <sub>5</sub> – 15 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ХПК <sub>Cr</sub> – 80 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> Азот общий – 20 мг/дм <sup>3</sup> Аммоний-ион – 15 мгN/дм <sup>3</sup> Взвешенные вещества – 25 мг/дм <sup>3</sup> Фосфор общий – 5 мг/дм <sup>3</sup> Сульфат-ион – 500 мг/дм <sup>3</sup>
18	Производство синтетического каучука в первичных формах, производство резиновых изделий	БПК <sub>5</sub> – 25 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ХПК <sub>Cr</sub> – 150 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> Взвешенные вещества – 30 мг/дм <sup>3</sup> Азот общий – 20 мг/дм <sup>3</sup> Аммоний-ион – 12 мгN/дм <sup>3</sup> Нитрит-ион – 3 мгN/дм <sup>3</sup> Фосфор общий – 3 мг/дм <sup>3</sup>
19	Производство красок, лаков и аналогичных покрытий, типографских красок и мастик	БПК <sub>5</sub> – 20 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ХПК <sub>Cr</sub> – 120 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> Взвешенные вещества – 30 мг/дм <sup>3</sup>
20	Производство желатина	БПК <sub>5</sub> – 25 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ХПК <sub>Cr</sub> – 100 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> Взвешенные вещества – 30 мг/дм <sup>3</sup> Аммоний-ион – 10 мгN/дм <sup>3</sup> Азот общий – 30 мг/дм <sup>3</sup> Фосфор общий – 3 мг/дм <sup>3</sup>
21	Производство прочих неметаллических минеральных продуктов (за исключением производства стекла и изделий из стекла)	БПК <sub>5</sub> – 25 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ХПК <sub>Cr</sub> – 150 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> Взвешенные вещества – 50 мг/дм <sup>3</sup>
22	Производство стекла и изделий из стекла	БПК <sub>5</sub> – 25 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ХПК <sub>Cr</sub> – 130 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> Взвешенные вещества – 30 мг/дм <sup>3</sup> Сульфат-ион – 300 мг/дм <sup>3</sup> Фторид-ион – 30 мг/дм <sup>3</sup>

Окончание таблицы Б.2

№ п/п	Вид экономической деятельности	Значение показателей и концентраций загрязняющих веществ в составе производственных сточных вод исходя из достигаемой эффективности их удаления
23	Металлургическое производство, производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	БПК <sub>5</sub> – 30 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ХПК <sub>Cr</sub> – 180 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> Взвешенные вещества – 25 мг/дм <sup>3</sup> Фосфор общий – 2 мг/дм <sup>3</sup> Железо общее – 5 мг/дм <sup>3</sup> Нитрит-ион – 5 мгN/дм <sup>3</sup> Аммоний-ион – 45 мгN/дм <sup>3</sup> Нефтепродукты – 1 мг/дм <sup>3</sup> Фторид-ион – 30 мг/дм <sup>3</sup>
24	Сбор, обработка и распределение воды (деятельность по водоснабжению), снабжение электроэнергией, газом, паром, горячей водой и кондиционированным воздухом	Сточные воды от сооружений водо-подготовки, установок охлаждения, парогенераторных установок: БПК <sub>5</sub> – 10 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ХПК <sub>Cr</sub> – 80 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> Взвешенные вещества – 25 мг/дм <sup>3</sup> Фосфор общий – 3 мг/дм <sup>3</sup> * Аммоний-ион**
* Применяется только в отношении вида экономической деятельности «снабжение электроэнергией, газом, паром, горячей водой и кондиционированным воздухом». ** Значение определяется в зависимости от массы органических веществ в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения.		

**ПРИЛОЖЕНИЕ В**  
(справочное)

**УСЛОВИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
БИОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ**

*Таблица В.1 – Эффективность удаления загрязняющих веществ на сооружениях очистки сточных вод*

Метод очистки сточных вод	Эффект удаления примесей, %					
	Остаточная концентрация примесей, мг/дм <sup>3</sup>					
	Взвешенные вещества	БПК <sub>5</sub>	ХПК	NH <sub>4</sub>	N <sub>общ</sub>	P <sub>общ</sub>
Механическая очистка	45–64 %	20–33 %	20–33 %	9 %	11	11
	–	–	–	–	–	–
Биологическая очистка без нитрификации при нагрузке на активный ил 0,15 кг/кг·сут	–	–	–	40 %	27 %	33 %
	20	15	70	–	–	–
Биологическая очистка с нитрификацией при нагрузке на активный ил 0,15 кг/кг·сут	–	–	–	–	27 %	33 %
	20	15	70	5	–	–
Биологическая очистка с предварительной денитрификацией с рециркуляцией 200 %	–	–	–	–	70 %	33–35 %
	20	15	70	5	–	–
Биологическая очистка с предварительной денитрификацией с рециркуляцией 200 % и биологическим удалением фосфора	–	–	–	–	70 %	75–78 %
	20	15	70	5	–	–
Биологическая очистка при нагрузке на активный ил 0,15 кг/кг·сут с доочисткой в биологических прудах менее 2 сут	–	–	–	–	27–70 %	33–78 %
	12	15	70	5	–	–
Биологическая очистка при нагрузке на активный ил 0,15 кг/кг·сут с доочисткой на микрофильтрах	–	–	–	–	27–70 %	33–78 %
	10	12	65	5	–	–
Биологическая очистка при нагрузке на активный ил 0,15 кг/кг·сут с одновременным реагентным осаждением	–	–	–	–	27–70 %	–
	18	12	67	5	–	1–2

Окончание таблицы В.1

Метод очистки сточных вод	Эффект удаления примесей, %					
	Остаточная концентрация примесей, мг/дм <sup>3</sup>					
	Взвешенные вещества	БПК <sub>5</sub>	ХПК	NH <sub>4</sub>	N <sub>общ</sub>	P <sub>общ</sub>
Биологическая очистка при нагрузке на активный ил 0,15 кг/кг·сут с симультанным реагентным осаждением и последующим фильтрованием с флокуляцией	–	–	–	–	27–70 %	–
	5	7	50	5	–	0,3–0,5

Таблица В.2 – Концентрации отдельных загрязняющих веществ в сточных водах, допустимые для биологической очистки,  $C_{б.о.с}$  и эффективность их удаления на сооружениях аэробной биологической очистки

Загрязняющее вещество	Допустимая концентрация загрязняющего вещества в сточных водах, поступающих на биологическую очистку, $C_{б.о.с}$ , мг/дм <sup>3</sup>	Достижимая эффективность удаления, %
Акролеин	0,01	–
Аллиловый спирт	3	65
Алюминий	5	50
Акриловая кислота	–	65
Анилин	0,1	80
Ацетальдегид	20	80
Ацетон	40	95
Барий	10	40
Бензойная кислота	15	80
Бутилакрилат	–	65
Бутилацетат	0,1	80
Бутиловый спирт нормальный	10	80
Бутиловый спирт вторичный	20	80
Бутиловый спирт третичный	20	80
Ванадий	2,0	65
Винилацетат	100	30
Висмут	15	65
Гидразин	0,1	–
Гидрохинон	15	30

Продолжение таблицы В.2

Загрязняющее вещество	Допустимая концентрация загрязняющего вещества в сточных водах, поступающих на биологическую очистку, $C_{б.о.с}$ , мг/дм <sup>3</sup>	Достижимая эффективность удаления, %
Гликозин	30	35
Глицерин	90	–
Дибутилфталат	0,2	30
Диметилацетамид	15	80
Диметилфенил-карбинол	1,0	65
3,5-диметилфенол (3,5-ксиленол)	–	50
Динитрил адипиновой кислоты	–	30
Дициандиамид	100	30
Диэтаноламид	1,0	–
Диэтиламин	10	30
Железо общее	5	65
Жиры растительные и животные	50	60
Изобутиловый спирт	–	50
Изопропиловый спирт	–	65
Кадмий	0,1	50
2-оксогексаметиленимин (капролактамы, лактамы эпсилон-аминокапроновой кислоты)	25	80
Карбомол	–	60
Кобальт	1,0	40
О-крезол	100	40
Кротоновый альдегид	6	–
Ксилол	1,0	50
Латексы	10	–
Лудигол	100	60
Малеиновая кислота	60	80
Марганец	30	–
Масляная кислота	500	85
Медь	0,5	65
Метазин	10	30
Метакриламид	–	30
$\alpha$ -метакриловая кислота	–	30
Метанол (метиловый спирт)	30	95

Продолжение таблицы В.2

Загрязняющее вещество	Допустимая концентрация загрязняющего вещества в сточных водах, поступающих на биологическую очистку, $C_{б.о.с}$ , мг/дм <sup>3</sup>	Достижимая эффективность удаления, %
Метилметакрилат	500	65
Метилстирол	1,0	50
Метилэтилкетон	50	65
Молибден	–	30
Молочная кислота	–	85
Моноэтаноламин	5	50
Моноэтиловый эфир этиленгликоля	–	65
Муравьиная кислота	–	85
Мышьяк	0,1	40
$\alpha$ -нафтол ( $\alpha$ -гидрокси-нафталин)	–	65
L-нафтол	–	65
B-нафтол	–	65
Нефть и нефтепродукты в растворимом и эмульгированном состоянии	15	70
Никель	0,5	40
Нитробензол	–	70
Октанол (спирт октиловый)	–	50
Олово	10	–
Пирокатехин	–	80
Полиакриламид	40	–
Поливиниловый спирт	20	–
Пропиленгликоль	–	85
Пропиловый спирт	12	95
Резорцин	12	80
Ртуть	0,005	50
Свинец	0,1	40
Селен	10	40
Сероуглерод	5	–
СПАВ анионоактивные, в том числе алкилоксиэтилированные сульфаты, алкилсульфонаты, олефинсульфонаты, алкилбензосульффонаты алкилсульфаты, натриевые и калиевые соли жирных кислот	20	65

Продолжение таблицы В.2

Загрязняющее вещество	Допустимая концентрация загрязняющего вещества в сточных водах, поступающих на биологическую очистку, $C_{б.о.с}$ , мг/дм <sup>3</sup>	Достижимая эффективность удаления, %
Синтамид	–	60
Стирол (Венилбензол)	10	50
Стронций	26	15
Сульфиды и сероводород	1	50
Сурьма	0,5	30
Тиомочевина	10	40
Титан	0,1	65
Толуол	15	50
Трикрезилфосфат	40	30
Триэтанолламин	5	40
Уксусная кислота	–	80
Фенол (карболовая кислота, гидроксibenзол)	15	80
Формальдегид	100	65
Фталева кислота	0,5	60
Фторид-анион	–	15
Хром ( $Cr^{3+}$ )	2,5	65
Хром ( $Cr^{6+}$ )	0,1	50
Хромолан	10	20
Цианиды-анион	1,5	60
Цинк	1,0	60
Этиловый спирт	14	70
Эмукрил С	10	45
Этамон ДС	10	30
2-этилгексанол	6	–
Этиленгликоль	1000	65
Этиленхлоргидрин	5	65

*Примечание* – Если указан знак «–», данные отсутствуют.

Таблица В.3 – Перечень загрязняющих веществ, не удаляемых в процессе аэробной биологической очистки

1	Анизол
2	Ацетофенон
3	Бутилбензол
4	Гексахлорбензол
5	Гексоген
6	Гексахлоран

Продолжение таблицы В.3

7	Гексахлорбутадиен
8	Гексахлорбутан
9	Гексахлорциклопентадиен
10	Гексахлорэтан
11	Далапон
12	Диметилдиоксан
13	Диметилдитиофосфат
14	Диэтиланилин
15	Диэтиленгликоль
16	Диэтиленовый эфир малеиновой кислоты
17	Диэтилртуть
18	Диметилдитиофосфорная кислота
19	Диметилдихлорвинилфосфат
20	Диметилформамид
21	Дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ)
22	Дихлоранилин
23	Дихлорбензол
24	Дихлорбутан
25	Дихлоргидрин
26	Дихлорнафтохинон
27	Дихлорпропионат натрия
28	Дихлофос
29	Дихлорэтан
30	Диэтилдитиофосфорная кислота
31	Диэтиловый эфир малеиновой кислоты
32	Изопрен
33	Изопропиламин
34	Каптакс
35	Карбофос
36	Нитробензол
37	Нитрохлорбензол
38	Норсульфазол
39	Меланин
40	$\beta$ -меркаптодиэтиламин
41	Метафос
42	Метилантрофос
43	Парафенилдиамин

Окончание таблицы В.3

44	Пентаэритрит
45	Петролатум
46	Пикриновая кислота (тринитрофенол)
47	Пирогаллол (триоксибензол)
48	Полихлорпилен
49	Полиэтиленамин
50	Пропилбензол
51	Сульфаты (анион)
52	Тетрахлорбензол
53	Тетрахлоргептан
54	Тетрахлорметан
55	Тетрахлорнонан
56	Тетрахлорпентан
57	Тетрахлорпропан
58	Тетрахлорундекан
59	Тетрахлорэтан
60	Тетраэтилсвинец
61	Тиофен
62	Тиофос
63	Трибутилфосфат
64	Трихлорбензол
65	Триэтаноламин
66	Трифторхлорпропан
67	Триэтиламин
68	Фазалон

Учебное издание

*ГОРЕЛАЯ Олеся Николаевна*

**ВОДООТВОДЯЩИЕ СИСТЕМЫ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Учебное пособие

Редактор *Я. А. Васькевич*  
Технический редактор *В. Н. Кучерова*  
Корректор *Д. В. Марцинкевич*

Подписано в печать 14.03.2024 г. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.  
Усл. печ. л. 12,09. Уч.-изд. л. 11,96. Тираж 80 экз.  
Зак. № 553. Изд. № 14.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Белорусский государственный университет транспорта.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий  
№ 1/361 от 13.06.2014.  
№ 2/104 от 01.04.2014.  
№ 3/1583 от 14.11.2017.  
Ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель