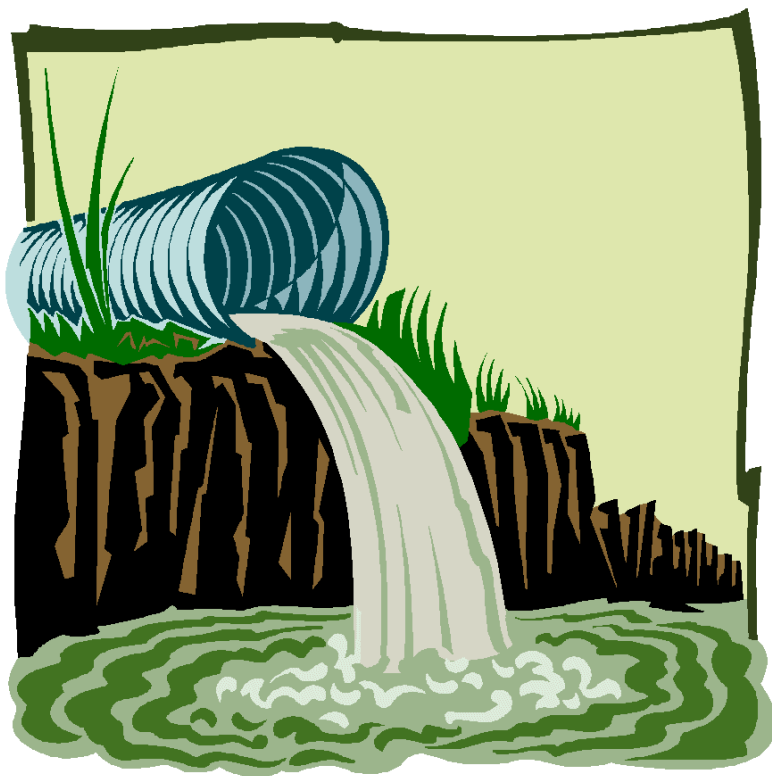


**М.Н. Мифтахов**

**Процессы и аппараты защиты биосферы.  
Защита гидросферы**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**



Набережные Челны  
2018г.

УДК 504

Процессы и аппараты защиты биосферы. Защита гидросферы. Учебное пособие для магистрантов, обучающихся по направлению 20.04.01 «Техносферная безопасность». Составитель: М.Н. Мифтахов. Набережные Челны: НЧИ К(П)ФУ, 2018, 90 с.

Рецензенты: доктор химических наук, профессор А.В. Билалов  
доктор ветеринарных наук, профессор Г.М. Ахмадиев

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Набережночелнинского института (филиала) К(П)ФУ

© НЧИ К(П)ФУ, 2018 год

## Оглавление

Введение.....	5
Глава 1. Использование воды в системах водоснабжения .....	6
1.1. Источники загрязнения гидросферы .....	6
1.2. Свойства и классификация вод. ....	8
1.3. Обратное водоснабжение.....	11
1.4. Технологическая вода и сточные воды .....	14
1.5. Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий.....	17
Глава 2. Удаление взвешенных частиц из сточных вод .....	22
2.1. Процеживание и отстаивание .....	22
2.2. Удаление всплывающих примесей .....	26
2.3. Фильтрование .....	28
2.4. Удаление взвешенных частиц под действием центробежных сил и отжиманием.....	30
Глава 3. Основные физико-химические методы очистки сточных вод .....	34
3.1. Коагуляция и флокуляция.....	34
3.2. Флотация .....	36
3.3. Адсорбция.....	40
3.4. Ионный обмен .....	45
3.5. Экстракция.....	47
3.6. Обратный осмос и ультрафильтрация .....	48
Глава 4. Химические методы очистки сточных вод.....	53
4.1. Нейтрализация.....	53
Глава 5. Биохимические методы очистки сточных вод.....	56
5.1. Общие положения.....	56
5.2. Очистка в природных условиях .....	59
5.3. Очистка в искусственных сооружениях.....	60
5.4. Анаэробные методы биохимической очистки.....	66
Практическая часть .....	69

Лабораторная работа № 1.....	69
Лабораторная работа № 2.....	76
Лабораторная работа № 3.....	80
Лабораторная работа № 4.....	82
Лабораторная работа № 5.....	84
Библиографический список .....	89

## Введение

Известно, что вода играет решающую роль не только во многих природных и технологических процессах, но и в обеспечении жизнедеятельности человека. В промышленности воду используют как сырье и источник энергии, для транспортирования сырья и материалов.

В настоящее время развитие промышленности вызывает необходимость в предотвращении отрицательного воздействия производственных сточных вод на поверхностные водные объекты. Многие современные технологические процессы связаны со сбросом сточных вод в водные объекты.

В связи с чрезвычайным разнообразием состава, свойств и расходов сточных вод промышленных предприятий необходимо применение специальных методов, а также эффективных систем их очистки.

В составе инженерных коммуникаций каждого промышленного предприятия имеется комплекс канализационных сетей и сооружений, с помощью которых осуществляется отведение с территории предприятия отработанных вод (дальнейшее использование которых либо невозможно по техническим условиям, либо нецелесообразно по технико-экономическим показателям), а также сооружений по предварительной обработке сточных вод и извлечению из них ценных веществ и примесей.

Одним из основных направлений инновационного развития экономики является создание малоотходных и безотходных технологических процессов. В области очистки сточных вод таким направлением является разработка канализационных систем с минимальным сбросом сточных вод в водоем или без сброса — бессточных систем.

В настоящее время в связи с появлением наилучших доступных технологий наиболее рациональным способом сокращения объема сточных вод является создание оборотных и замкнутых систем водоснабжения, исключающих сброс воды в водоемы. При таком водоснабжении предусматривается необходимая очистка сточной воды, охлаждение оборотной воды, обработка и повторное использование сточной воды.

Создание замкнутых систем технического водоснабжения с извлечением ценных компонентов в первую очередь предусматривается при строительстве новых и реконструкции действующих предприятий. Наиболее оптимальным является переход на бессточные системы канализации или системы с минимальным сбросом сточных вод, который может быть осуществлен путем многократного использования отработанных вод и замены водяного охлаждения на воздушное.

# Глава 1. Использование воды в системах водоснабжения

## 1.1. Источники загрязнения гидросферы

Источник водопотребления всегда тесно связан с окружающей его биосферой. На источник воды влияют следующие факторы:

- режим формирования водоема;
- природные явления (ливни, оползни т.п.);
- бурное развитие промышленности;
- строительная отрасль;
- транспорт (авто-, ж/д и т.д.);

В результате воздействия этих факторов является привнесение в водные объекты загрязнителей, которые изменяют свойства природной воды.

Загрязнения, поступающие в водную среду, классифицируют, исходя из условий их образования, качества и природы загрязнителей. Различают химическое, биологическое и физическое загрязнения.

Химическое загрязнение представляет собой загрязнение воды химическими веществами - неорганической, так и органической природы.

Неорганические химические вещества. Основными неорганическими (минеральными) загрязнителями пресных и морских вод являются разнообразные химические соединения, токсичные для обитателей водной среды. Это соединения мышьяка, свинца, кадмия, ртути, хрома, меди, фтора. Большинство из них попадает в воду в результате увеличения техногенной нагрузки на биосферу. Например, тяжелые металлы в морях и океанах поглощаются фитопланктоном, а затем передаются по пищевой цепи выше.

Органические химические соединения в растворимом и нерастворимом состоянии. Среди вносимых в океан с суши растворимых веществ, большое значение для обитателей водной среды имеют органические остатки.

Сточные воды, содержащие суспензии и эмульсии органического происхождения или растворенное органическое вещество, негативно влияют на экологическое состояние водоемов. Осаждаясь, суспензии заливают дно и задерживают развитие или полностью прекращают жизнедеятельность донных микроорганизмов, участвующих в процессе самоочищения вод. При гниении донных осадков в анаэробных условиях может образовываться сероводород, который приводит к

загрязнению всей воды в реке. Наличие суспензий увеличивает мутность воды, затрудняют также проникновение света в глубь воды и замедляет процессы фотосинтеза. Кроме того вредные вещества снижают содержание в воде кислорода. Поверхностно-активные вещества (ПАВ) — жиры, масла, смазочные материалы — образуют на поверхности воды тонкую пленку, которая препятствует газообмену между водой и атмосферой, что приводит к снижению насыщенности воды кислородом. Огромные объемы органических веществ, сбрасываются в реки вместе с промышленными и бытовыми стоками, приводя эти воды в худшее состояние. Нарастающее загрязнение водоемов и водостоков наблюдается во всех промышленных странах.

В последнее время в связи с быстрыми ростом городов, и, соответственно ростом объемов промышленных и бытовых стоков, истощением производительности старых очистных сооружений водные бассейны рек и морей, а также и почва загрязняются бытовыми отходами.

Разлагаясь в водной среде, органические отходы могут стать средой для размножения патогенных организмов, и вода становится практически непригодной для нужд человека и производства.

Биологическое загрязнение вод обусловлено присутствием в питьевой воде болезнетворных микроорганизмов.

Хозяйственно-бытовые сточные воды опасны не только тем, что являются источником некоторых инфекционных болезней, но и тем, что требуют для своего разложения много кислорода. Физическое загрязнение обусловлено присутствием в воде нерастворимых частиц (взвеси) различного происхождения.

Важное значение имеет загрязнение гидросферы нефтепродуктами. Благодаря своим физико-химическим свойствам, нефтепродукты быстро распространяются по поверхности воды. Например, 1 тонна разлившейся нефти может разлиться на площади 10-15 квадратных км.

Среди источников, из которых нефть активно попадает в гидросферу необходимо назвать:

- транспортирование нефти танкерами;
- возникновение чрезвычайных ситуаций на нефтеналивном транспорте и морских нефтедобывающих платформах;
- слив за борт танкерами промывочных и балластных вод;
- потери при добыче из морских скважин;
- поступление в моря по рекам, с бытовыми и ливневыми стока-

ми.

В твердых (шлаках) и жидких промышленных стоках производств присутствуют разнообразные органические вещества, также внося значительные загрязнения в речные и морские воды. Также большую опасность для воды представляют – это тяжелый металл в растворенной форме, токсичные органические вещества, нефтепродукты, синтетические моющие средства (ПАВы).

Тепловое загрязнение поверхности водоемов обусловлено в первую очередь, сбросом нагретых вод предприятиями теплоэнергетики и другими энергоемкими производствами, что в свою очередь приводит к повышению температуры воды, уменьшает растворимость кислорода, увеличивает потребление кислорода аэробными бактериями, разлагающих органическое вещество. Кроме того, усиливается видовое разнообразие фитопланктона и всей флоры водорослей (например, бурное распространение сине-зеленых водорослей).

Анализ сточных вод, образующихся на современных предприятиях, показал, что в сбрасываемых в водоемы водах относительно малотоксичных веществ (хлориды, сульфаты, нитраты и фосфаты натрия, органические продукты, взвешенные вещества, и т.п.), в воды могут поступать и более токсичные вещества (соединения ртути, фтора, мышьяка, селена, хрома, никеля, меди и др.), содержание которых в воде строго нормировано.

## **1.2. Свойства и классификация вод.**

Ресурсы природной воды. Это запасы морских и пресных поверхностных (речных, озерных, болотных, ледниковых) и подземных вод какой-либо территории. Общее количество природной воды на Земле составляет примерно 1386 млн. км<sup>3</sup>, из которых свыше 97,5% – соленые воды. Количество пресной воды значительно меньше — 35 млн. км<sup>3</sup>. В России запас пресных поверхностных вод составляет примерно 40 тыс. км<sup>3</sup>. Из них: в озерах около 26 тыс. км<sup>3</sup> (в том числе в Байкале — 23 тыс. км<sup>3</sup>); некоторое количество находится в ледниках — 11 тыс. км<sup>3</sup>; в болотах около 3 тыс. км<sup>3</sup>; в руслах рек всего 235 км<sup>3</sup>. Из всего объема потребляемых вод только половина возвращается в водные объекты.

Природная вода—это вода, которая качественно и количественно сформировалась под влиянием естественных природных процессов. Ее качественные показатели находятся на естественном среднемного-



летнем уровне. Уровень жесткости природных вод характеризуется наличием в них солей кальция и магния и выражается концентрацией ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  в ммольэкв/л. Выделяют общую, карбонатную и некарбонатную жесткость.

Физические свойства воды. Плотность чистой воды при  $35^\circ\text{C}$  и атмосферном давлении составляет  $999 \text{ кг/м}^3$ . Наибольшую плотность ( $1000 \text{ кг/м}^3$ ) вода имеет при температуре  $4^\circ\text{C}$ . С увеличением концентрации примесей плотность воды возрастает. Например, морская вода с концентрацией солей  $35 \text{ кг/м}^3$  имеет среднюю плотность  $1028 \text{ кг/м}^3$  при  $0^\circ\text{C}$ .

Электрические свойства воды. Вода является очень слабым проводником электрического тока., однако, минерализация воды (например солями) приводит к увеличению ее электропроводности. Величина удельной электропроводности при  $18^\circ\text{C}$  равна  $4,9 \cdot 10^{-8} \text{ См/м}$  ( $4,41 \cdot 10^{-8} \text{ 1/0м-см}$ ).

Оптические свойства воды определяются ее прозрачностью и мутностью. Прозрачность и мутность воды зависят от количества в ней механических взвешенных примесей. Прозрачность определяется длиной пути луча, проникающего вглубь воды и определяется высотой столба воды по определенной методике. Показатель прозрачности используют для оценки качества воды и содержания в ней примесей (наличия взвесей) и может являться критерием при выборе обеззараживающего оборудования для очищенных стоков при их сбросе в водные объекты (УФ-обработка).

Загрязнение воды. Вследствие хозяйственной деятельности человека – сбросы предприятий, сельскохозяйственные стоки, кислотные осадки и т.п., природная вода загрязняется различными веществами, что негативно сказывается на ее качестве. Для вод различного назначения определены свои санитарно-гигиенические показатели. Загрязняющие вещества, поступающие в водную среду, ухудшают эти показатели.

Можно выделить следующие направления в изменении (ухудшении) качества природных вод под влиянием хозяйственной деятельности людей:

- увеличение содержания в природных водах ионов тяжелых металлов;
- повышение содержания солей в поверхностных и подземных водах в результате их поступления со сточными входами и в результате закачки технических соленых вод в подземные горизонты для

увеличения нефтеотдачи пластов;

- повышение содержания в водах органических соединений, прежде всего, биологически стойких (ПАВ, пестицидов, гербицидов, продуктов их распада и других токсичных веществ);

- снижение содержания кислорода в природных водах;

- снижение прозрачности воды в водоемах (в загрязненных водах размножаются вирусы и бактерии, возбудители инфекционных заболеваний);

Природная вода, подвергаемая антропогенному загрязнению, называется природно-антропогенной. Вода перед ее использованием на производстве, проходит все необходимые стадии водоподготовки в соответствии с санитарными и техническими нормативами. Классификация вод по областям ее применения. На производствах различают охлаждающую, технологическую и энергетическую (рис.1).

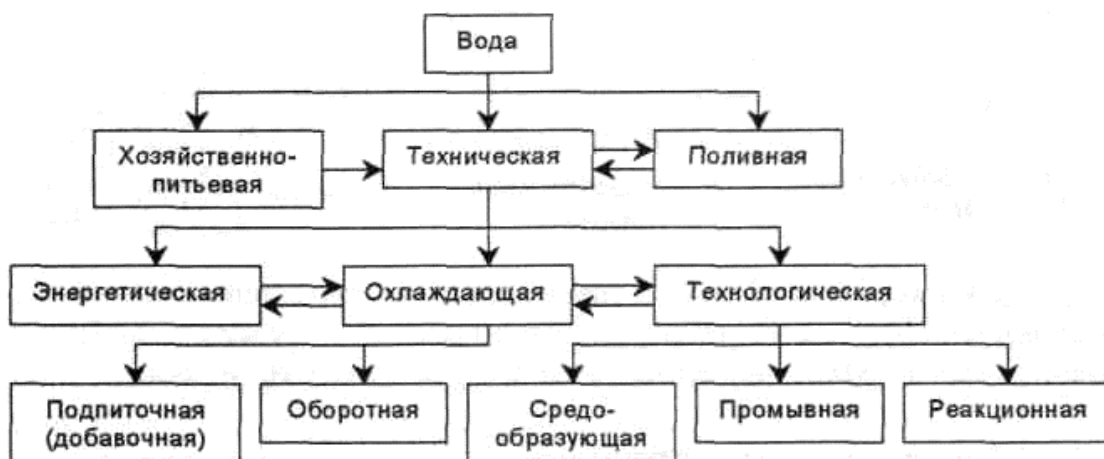


Рис.1. Классификация вод по областям ее применения

Поскольку вода является относительно недорогим ресурсом, она часто служит хладоагентом(теплоносителем) в самых различных теплообменных установках. При этом она не контактирует с материальными веществами и поэтому не загрязняется, а лишь нагревается или охлаждается. В промышленности например, 65-80% расхода воды потребляется для охлаждения. На крупных химических предприятиях потребление охлаждающей воды достигает сотен млн. м<sup>3</sup>/год. Суммарное количество воды, заключенной в системах охлаждения на предприятиях химической промышленности, составляет порядка 25 млрд. м<sup>3</sup>/год.

Технологическую воду в свою очередь распределить как средообразующую, промывную и реакционную. Средообразующую воду используют для растворения и образования различных растворов,

суспензий, как гидротранспорт; промывную — для промывки газообразных (абсорбция), жидких (экстракция) и твердых продуктов и изделий; реакцию — в составе реагентов, а также при азеотропной отгонке и аналогичных процессах.

Энергетическая вода потребляется для получения пара и нагревания оборудования, помещений, продуктов.

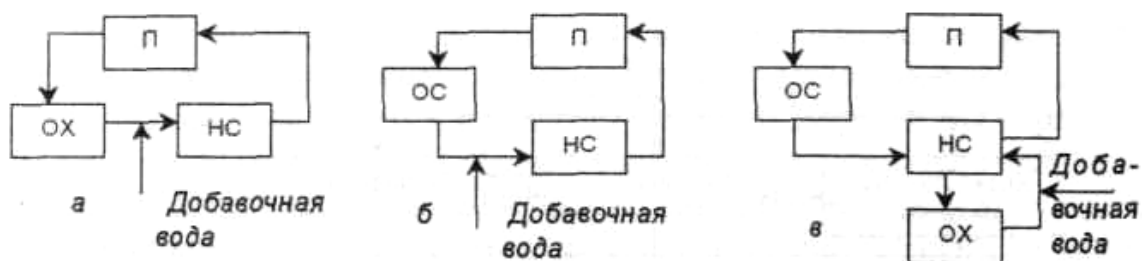


Рис.2. Схемы оборотного водоснабжения:

*a* — с охлаждением воды; *b* — с очисткой воды; *v* — с очисткой и охлаждением воды; П — производство; НС — насосная станция; ОХ — охлаждение воды; ОС — очистка сточной воды

### 1.3. Оборотное водоснабжение

В связи с постоянным ростом водопотребления и истощением его ресурсов в последнее время определен наиболее эффективный и рациональный путь уменьшения потребления свежей воды — это создание оборотных систем водоснабжения. Сюда же можно отнести и замкнутые системы водоснабжения (рис.2). При оборотном водоснабжении обычно предусматриваются определенная и требуемая степень очистки сточной воды, ее охлаждение, специальная (при необходимости) обработка перед повторным использованием.

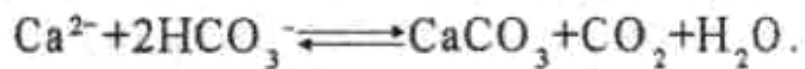
В схеме *a*) вода является только теплоносителем и в процессе использования не загрязняется, а нагревается; В схеме *b*) воду перед повторным использованием дополнительно очищают. В схеме *v*) воду и очищают и охлаждают. Во всех схемах добавляется свежая вода для восполнение потерь.

Оборотная вода должна соответствовать ряду показателей таких, как: карбонатной жесткости, рН, содержанию взвешенных веществ и биогенных элементов, значению ХПК и др.

Оборотная вода в основном применяется в теплообменных установках. Она может многократно нагреваться до 40-45 °С и охлаждается в вентилируемых установках (градирнях или брызгальных бассейнах). Значительная часть оборотной воды теряется по причине ис-

парения. Для предотвращения отложений солей, коррозии и биологического обрастания часть оборотной воды выводят из системы. Дефицит воды восполняется свежей (подпиточной) водой.

На внутренних поверхностях труб и теплообменников откладывается карбонат кальция по реакции:



При содержании в воде растворимых солей щелочных металлов и магния происходит коррозия материалов теплообменных систем, которая растет с температурой. В отсутствие ингибиторов содержание солей в оборотной воде регламентируется.

Таблица 1

Требования к качеству воды в охлаждающей системе оборотного водоснабжения

Показатель	Рекомендуемые нормы для промышленности		
	азотной	хлорной	нефтехимической
Температура, °С	28—30	25—30	До 28
Жесткость, экв/м <sup>3</sup> :			
Общая	1,5—2,5	5,5	До 15
Карбонатная	1,5—2,5	3	До 2,5
Общее солесодержание, г/м <sup>3</sup>	1200	800—1200	
Щелочность, экв/м <sup>3</sup>	—	2—4	3,5-4
Окисляемость перманганатная (на O <sub>2</sub> ), г/м <sup>3</sup>	15	8—10	До 15
ХПК(наO <sub>2</sub> ), г/м <sup>3</sup>	—	70	
Содержание, г/м <sup>3</sup> :			
Взвешенных частиц	20—30	10—20	До 30
Масла и смолообразующих веществ	0,3	0	—
ПАВ	0	0	—
Хлоридов (Cl <sup>-</sup> )	До 350	150—300	350
Сульфатов (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	500	350—500	500
Фосфатов (на PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	6	1,5—9	—
Соединений азота (на NH <sub>3</sub> )	2,4	,0,12—2,4	—
Ионов тяжелых металлов	—	0	0,5
Растворенного кислорода (на O <sub>2</sub> )	—	6—8	—
Остаточного активного хлора	—	До 1,0	—
pH	6,5-8,5	6,5-8,5	7-8,5

Для предотвращения биологического обрастания аппаратов и сооружений в оборотной воде должно быть ограничено содержание органических веществ. Кроме того, могут добавляться препараты, предотвращающие биообрастание.

Требования к качеству воды в охлаждающей системе оборотного водоснабжения даны в таблице 1.

Показатели качества воды для подпитки должны быть несколько лучше. При работе без сброса оборотной воды для продувки объем

свежей воды для подпитки примерно в три раза меньше, чем при работе со сбросом, но предъявляются более жесткие требования к качеству воды, что связано с увеличением затрат на химводоподготовку.

#### **1.4. Технологическая вода и сточные воды**

Технологическая вода. Для технологических вод качество воды должно быть выше, чем воды, которая циркулирует в оборотных системах.

Качество воды, используемой в производстве, устанавливается в каждом случае конкретно в зависимости от ее назначения и требований технологического процесса с учетом специфических особенностей производства. В некоторых случаях, например, требуется вода с содержанием солей менее  $10 \text{ г/м}^3$ , жесткостью, не превышающей  $0,01 \text{ ммоль-экв/м}^3$  и малой окисляемостью (до  $2 \text{ г O}_2/\text{м}^3$ ). В таблице 2 приведены основные требования к технологической воде, идущей на разные цели.

Сточные воды. В производствах образуются различные категории сточных вод. По определению сточная вода — это вода, бывшая в бытовом, производственном или сельскохозяйственном употреблении, а также прошедшая через какую-либо загрязненную территорию. В зависимости от условий образования сточные воды делятся на бытовые или хозяйственно-фекальные (БСВ), атмосферные (АСВ) и промышленные (ПСВ).

Таблица 2

## Требования к качеству технологической воды

Показатель	Промышленность химических волокон	Химическая промышленность (наиболее жесткие требования)	Производство неотбеленной целлюлозы	Производство пара в котлах высокого давления (5—10 МПа)
Общая жесткость, экв/м <sup>3</sup>	0,035	0,012	5	0,035
Содержание, г/м <sup>3</sup> :				
диоксида кремния	—	50	50	0,7
меди	—	—	—	0,05
марганца	0,03	—	—	—
железа	0,05	0,1	0,1	0,05
кислорода	—	—	—	0,3
нитратов и нитритов	—	—	—	—
рН	7—8	6,2—8,3	6—10	8—10
Цветность, град	5	20	—	—
Окисляемость, г/м <sup>3</sup>	4	—	—	—

К хозяйственно-бытовым сточным водам относятся стоки городских и сельских поселений (жилые дома, бани, прачечные, столовые, туалеты и др. Они содержат примеси, в которых примерно поровну органических и минеральных веществ.

К атмосферным водам относятся воды, образованные в результате выпадения атмосферных осадков и стекающие с территорий предприятий.

Промышленные (или производственные) сточные воды представляют собой жидкие отходы, которые возникают при деятельности предприятия в самых различных отраслях. В технологических про-

цессах источниками сточных вод являются: 1) воды, образующиеся при протекании химических реакций (они загрязнены исходными веществами и продуктами реакций); 2) воды, находящиеся в виде свободной и связанной влаги в сырье и исходных продуктах и выделяющиеся в процессах переработки; 3) промывные воды после промывки сырья, продуктов и оборудования;

Сточные воды многих производств могут также содержать коллоидные вещества, а также взвешенные вещества (суспензии, эмульсии) плотность которых может быть больше или меньше плотности воды. Концентрация примесей может варьироваться в широких пределах. Классификация их по фазово-дисперсному состоянию дана в таблице 3.

Имеется несколько путей уменьшения количества загрязненных сточных вод, среди которых наиболее важными и эффективными являются следующие: 1) внедрение безводных технологических процессов; 2) модернизация существующих технологических процессов; 3) внедрение наилучших доступных технологий; 4) внедрение воздушного охлаждения взамен жидкостных; 5) повторное использование очищенных сточных вод в оборотных и замкнутых системах.



Таблица 3

## Классификация примесей по их фазово-дисперсному состоянию

Группа	Размер частиц, мкм	Краткая характеристика
Гетерогенные системы		
I-взвеси	$>10^{-1}$	Суспензии и эмульсии, обуславливающие мутность воды, а также микроорганизмы и планктон
II-коллоидные растворы	$10^{-1}—10^{-2}$	Золи и растворы высокомолекулярных соединений, обуславливающие окисляемость и цветность воды
Гомогенные системы		
III-молекулярные растворы	$10^{-2}—10^{-3}$	Газы, растворимые в воде, органические вещества, придающие ей запахи и привкусы
IV-ионные растворы	$<10^{-3}$	Соли, основания, кислоты, обуславливающие минерализованность, жесткость, щелочность или кислотность воды

### 1.5. Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий

Одним из приоритетных направлений уменьшения количества сточных вод и, как следствие, загрязнения ими водоемов является внедрение замкнутых водооборотных систем предприятия, промышленного комплекса.

Под замкнутой системой водного хозяйства предприятия понимается система, в которой вода может многократно использоваться в производстве как без очистки, так и после очистки (иногда охлаждения). При этом не происходит сброс сточных вод в водоем.

Под замкнутой системой водного хозяйства территориально-промышленного комплекса, района или центра понимается система, включающая использование поверхностных вод, очищенных про-

мышленных и городских сточных вод на промышленных предприятиях, на сельскохозяйственных полях для орошения при выращивании сельскохозяйственных культур, для полива лесных угодий, для поддержания объема (уровня) воды водоемов. При этом также не производится сброс стоков. В случае надобности производится подпитка замкнутых систем свежей водой.

При использовании замкнутой системы обеспечивается рациональное использование воды во всех технологических процессах, организуется выделение ценных компонентов, сокращаются эксплуатационные затраты и практически исключается загрязнение биосферы (гидросферы).

Оборотная система водного хозяйства оценивается сравнением: показателя удельного расхода воды, в том числе свежей, на единицу выпускаемой продукции; удельного расхода реагентов, электроэнергии и тепла на очистку сточных вод; абсолютного количества товарного продукта, получаемого при очистке сточных вод; экологических и экономических показателей.

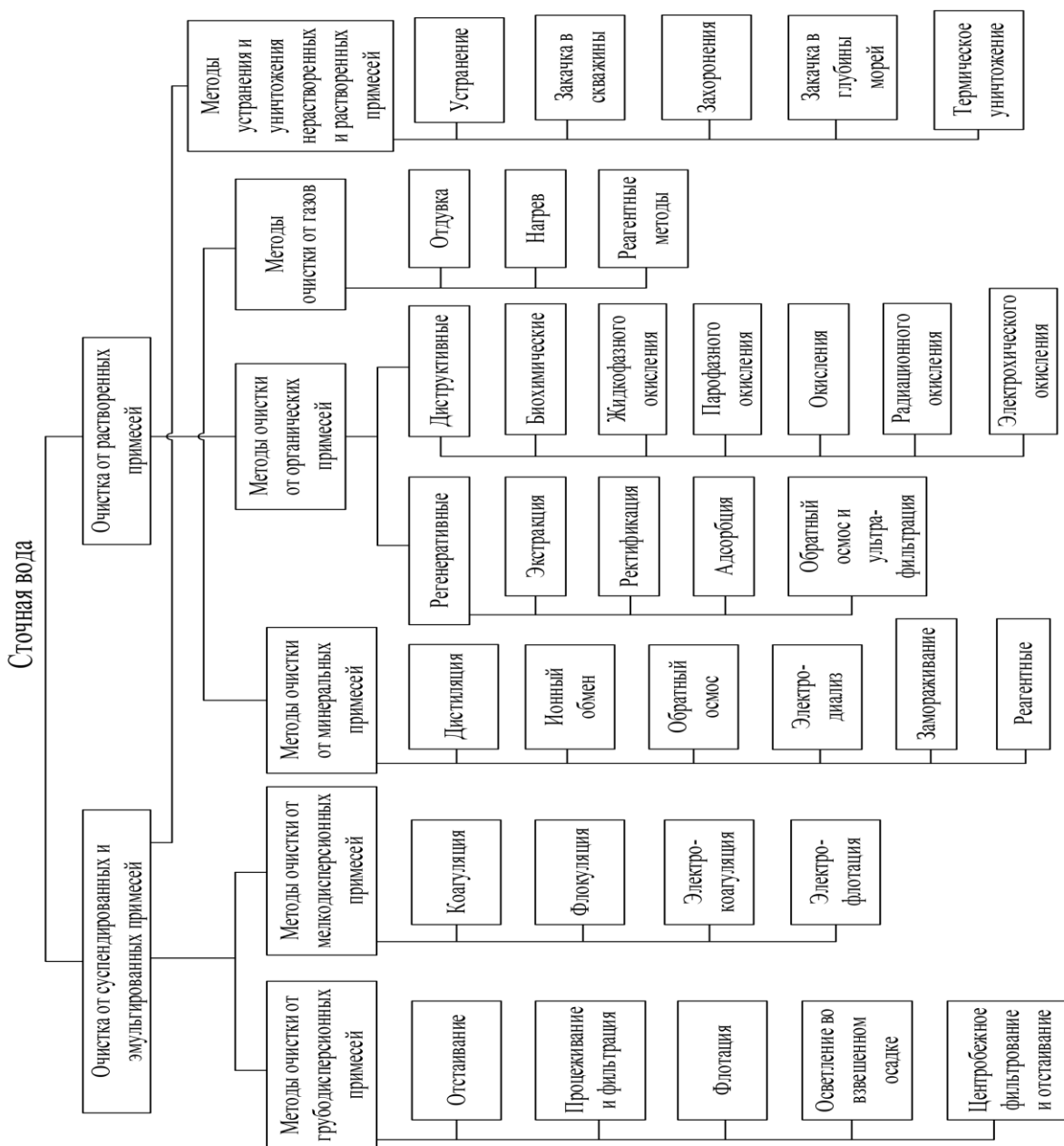


Рис 3. Классификация основных методов обезвреживания сточных вод химических производств.

## 1.6. Методы очистки и эффективность очистки сточных вод

В рамках замкнутых систем водоснабжения промышленные сточные воды подвергаются очистке целым комплексом методов: механическими, химическими, физико-химическими, биологическими и термическими методами. Классификация методов очистки приведена на рис.3.

Указанные методы очистки делятся в основном на две группы: рекуперационные и деструктивные. В рекуперационных методах организуется извлечение из сточных вод ценных компонентов. В деструктивных же методах вещества, загрязняющие воды, подвергаются разрушению путем окисления или восстановления, а продукты разрушения (газы или осадки) удаляются из воды.

При выборе метода очистки сточных вод исходят из следующих соображений и факторов: 1) требования к качеству, предъявляемых к качеству очищенных вод с учетом санитарных и технологических нормативов; 2) объема перерабатываемых сточных вод; 3) определенные требования к технологическому процессу очистки; 4) требуемой эффективности процесса очистки.

Эффективность обезвреживания сточных вод —  $\eta$ , % для всех методов определяется по соотношению:

$$\eta = \frac{G_H - G_K}{G_H} \cdot 100 = 1 - \frac{Q_K C_K}{Q_H C_H} \cdot 100$$

где  $G_H$  и  $G_K$  — массовый расход загрязнения в сточных водах до очистки и после очистки, кг/с;  $Q_H$  и  $Q_K$  — объемный расход сточных вод до очистки и после очистки, м<sup>3</sup>/с;  $C_H$  и  $C_K$  — концентрация загрязнения в сточной воде до и после очистки, кг/м<sup>3</sup>. Если  $Q_H = Q_K$ , то:

$$\eta = \frac{C_H - C_K}{C_H} \cdot 100$$

Если очистка сточных вод от загрязнения производится последовательно несколькими методами (аппаратами), то суммарная степень очистки равна:

$$\eta = 1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2) \dots (1 - \eta_n),$$

где  $\eta_1, \eta_2, \eta_n$  — степень очистки сточных вод первым, вторым и  $n$  методами.

Для оценки санитарной эффективности рекомендуется показателем

$$КБ = \frac{C_K}{ПДК_B}$$

тель КБ (контроль биосферы), равный: Тогда санитарная эффективность СЭ метода обезвреживания принимается равной:

$$СЭ_{\text{в}} = \frac{\eta}{КБ_{\text{в}}} = \frac{\eta \cdot ПДК_{\text{в}}}{С_{\text{к}}}$$

В случае сброса очищенных сточных вод в водоем метод очистки считается эффективным, если он обеспечивает предельно допустимый сброс (ПДС = QС).

В крупных производствах с выпуском разнообразной продукции образуются стоячие воды различного состава. Для отвода их строятся несколько канализационных систем. Каждая система имеет свои локальные очистные сооружения. При содержании в сточных водах нескольких веществ ( $C_1, C_2, \dots, C_n$ ) расчет санитарной эффективности обезвреживания проводят из условия:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1.$$

## **Глава 2. Удаление взвешенных частиц из сточных вод**

Промышленные и бытовые сточные воды как правило содержат большое количество взвешенных частиц малорастворимых и нерастворимых веществ. Взвешенные вещества (твердые и/или жидкие) образуют с водой дисперсную систему – суспензии и эмульсии. В зависимости от размера частиц дисперсные системы делят на 4 группы (табл.3): 1) взвеси (более 0,1 мкм); 2) коллоидные системы (с частицами размером от 0,1 мкм — 0,01 мкм); 3) молекулярные растворы (0,01 мкм – 0,001 мкм); 4) ионные растворы (менее 0,001 мкм). Для удаления взвешенных частиц из сточных вод используют механические процессы (процеживания, отстаивания, гравитационное и центробежное фильтрование). Выбор метода определяется от природы и размера частиц примесей, физико-химических свойств и концентрации взвешенных частиц, объемного расхода сточных вод и требуемой степени очистки.

При неравномерном образовании сточных вод на производстве перед передачей на очистные сооружения их пропускают через усреднители, тем самым обеспечивается равномерность расхода и выравнивание концентраций.

### **2.1. Процеживание и отстаивание**

**Процеживание.** Процесс процеживания является предварительным этапом для последующих стадий очистки сточных вод, для этого сточные воды пропускают через решетки и сита, с целью извлечения из них крупных примесей, которые могут засорять трубопроводы системы очистки.

Различают несколько типов решеток. Решетки могут быть неподвижными, подвижными, а также совмещенными с дробилками (комминаторы). Широкое распространение получили неподвижные решетки. Решетки обычно изготавливают из металлических стержней круглого или квадратного сечения и устанавливают на пути движения сточных вод под углом примерно 60-75°. Решетки очищают граблями, которые могут быть установлены по-разному (рис. 4).

Снятые с решеток загрязнения (как правило твердые примеси) направляют на переработку (измельчение). Для измельчения отходов используют дробилки. Решетки-дробилки представляют собой аппарат, в котором согласованно работают и решетки и дробилки.

Для удаления более мелких взвешенных веществ, а также ценных продуктов применяют сита. В основном, на практике используются

барабанные или дисковые сита. Производительность сита определяется диаметром барабана и его длиной, а также свойствами примесей. Сита применяют для очистки сточных вод во многих отраслях промышленности.

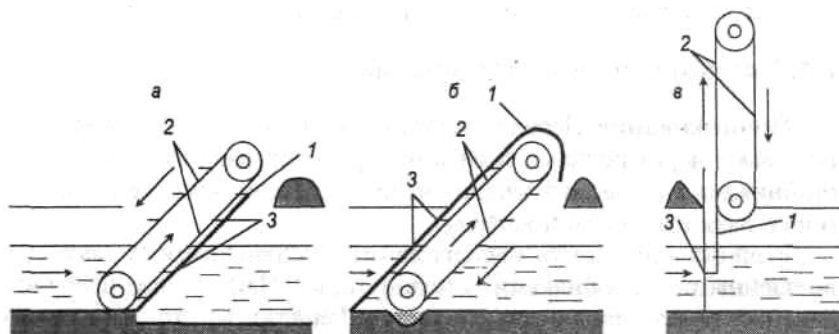


Рис. 4. Виды (а — в) решеток с граблями для очистки:  
1 — решетка; 2 — бесконечная цепь; 3 — грабли

Свойства сточных вод значительно отличаются от свойств чистой воды. Как правило, они имеют более высокие значения плотности и вязкости. Вязкость и плотность сточных вод, содержащих только взвешенные твердые частицы, равна:

$$\mu_c = \mu_0 (1 + 2,5c_0)$$

$$\rho_c = \rho \varepsilon + \rho_{ТВ}(1 - \varepsilon)$$

Объемная доля жидкой фазы вычисляется по соотношению:

$$\varepsilon = V_{ж} / (V_{ж} + V_{ТВ}).$$

Здесь  $\mu_c$  и  $\mu_0$  — динамическая вязкость сточной воды и чистой воды, Па с;  $c_0$  — объемная концентрация взвешенных частиц, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho$  и  $\rho_{ТВ}$  — плотность соответственно чистой воды и твердых частиц, кг/м<sup>3</sup>;  $\varepsilon$  — объемная доля жидкой фазы;  $V_{ж}$  и  $V_{ТВ}$  — объем жидкой и твердой фаз в сточной воде, м<sup>3</sup>.

При расчете и подборе отстойников, основным определяющим параметром является скорость осаждения частиц (гидравлическая крупность) —  $w_{ос}$ .

Для различных режимов течения жидкости (ламинарного, переходного и турбулентного), скорость свободного осаждения шарообразных частиц вычисляют по формуле:

$$Re_0 = Ar / (18 + 0,6\sqrt{Ar})$$

где  $Re_0 = w_{ос} d \rho / \mu_0$  число Рейнольдса;  $Ar = d^3 r^2 g (\rho_{ТВ} - \rho) / \mu_0^2 \rho$  — число Архимеда;  $d$  — диаметр частицы.

Для нешарообразных частиц в формулы подставляют эквивалентный диаметр частиц  $d_{\text{э}} = \sqrt{(V_{\text{ч}}/\pi)}$  (где  $V_{\text{ч}}$  — объем частицы).

При отстаивании сточных вод происходит так называемое стесненное осаждение, которое характеризуется столкновением взвешенных частиц, трением между ними и изменением скоростей осаждения. Причем, скорость стесненного осаждения меньше скорости свободного осаждения вследствие возникновения восходящего потока жидкости и большей вязкости среды.

Скорость стесненного осаждения шарообразных частиц одинакового размера можно рассчитать при ламинарном режиме по формуле:

$$w_{\text{ос}} = d^2 g (\rho_{\text{т}} - \rho) R / 18 \mu_0, \quad R = \varepsilon \mu_0 / \mu_e$$

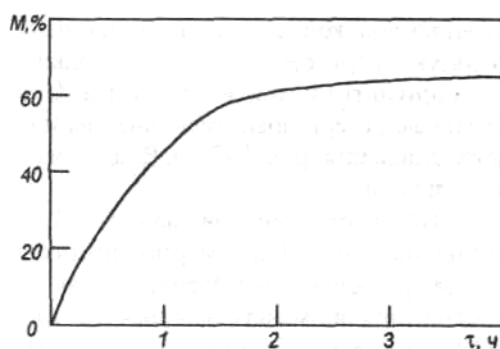


Рис.5. Кинетика процесса осаждения

Коэффициент агломерации характеризуется отношением  $K_a = d_{\text{ф}}/d_0$ , где  $d_{\text{ф}}$  — фиктивный диаметр частицы, эквивалентный теоретической скорости ее осаждения. Для полидисперсных систем кинетику осаждения устанавливают опытным путем. Она характеризуется кривой, показанной на рис.5.

При периодическом процессе осаждения взвешенные частицы в отстойнике распределяются неравномерно по высоте слоя сточных вод. Через некоторый промежуток времени после начала отстаивания в верхней части отстойника появляется осветленный слой жидкости, а ближе к дну отстойника происходит увеличение концентрации взвешенных частиц в сточной воде. В конечном итоге на дне образуется слой осадка. С течением времени высота слоя осветленной жидкости и высота слоя осадка возрастают за счет промежуточных слоев. Через определенный промежуток времени в отстойнике будут находиться только слой осветленной жидкости и слой осадка.

Песколовки. Песколовки применяются для предварительного выделения достаточно крупных минеральных и органических загрязне-



ний (0,2-0,25 мм) из сточных вод.

Горизонтальные песколовки-это, как правило, резервуары с треугольным или трапецеидальным поперечным сечением. Глубина песколовков обычно составляет 0,25-1 м. Скорость движения воды в них не превышает 0,3 м/с. Разновидностью горизонтальных песколовков являются песколовки с круговым движением воды в виде круглого резервуара конической формы (в нижней части) с периферийным лотком для протекания сточной воды. Осадок собирается в коническом днище, откуда его направляют на дальнейшую переработку.

Вертикальные песколовки, в отличие от горизонтальных, имеют прямоугольную или круглую форму, в них сточные воды движутся с вертикальным восходящим потоком со скоростью 0,05 м/с.

Тип песколовки выбирают в зависимости от количества сточных вод и концентрации взвешенных примесей. Более распространенными считаются горизонтальные песколовки.

Отстойники. Различают три основных вида отстойников: горизонтальные, вертикальные и радиальные,

Горизонтальные отстойники – это прямоугольные резервуары, имеющие два и более одновременно работающих отделения (рис.6, а). Вода медленно движется с одного конца отстойника к другому.

Глубина отстойников примерно составляет  $H = 1,5-4$  м, длина 8-12 м, а ширина коридора 3-6 м. Для обеспечения равномерного распределения сточной воды по сечению отстойника в отстойниках встраиваются поперечные лотки. Горизонтальные отстойники обычно применяются при расходах сточных вод свыше 15000 м<sup>3</sup>/сут. Эффективность отстаивания достигает 60%, а продолжительность отстаивания составляет 1-3 ч.

Вертикальные отстойники. Схема вертикального отстойника показана на рис.6, б. Отстойник представляет собой цилиндрический (или квадратный в плане) резервуар с коническим (пирамидальным) днищем. Сточную воду подводят по центральной трубе. После поступления внутрь отстойника вода движется снизу вверх к желобу. Для равномерного распределения трубу делают с раструбом и распределительным щитом. Таким образом, осаждение происходит в восходящем потоке, скорость которого равна 0,5-0,6 м/с. Высота зоны осаждения — 4 - 5 м., однако, эффективность осаждения вертикальных отстойников ниже на 10-20%, чем в горизонтальных.

Радиальные отстойники. Эти отстойники представляют собой цилиндрические в плане резервуары (рис.6, в). Сточная вода в них

движется от центра к краям отстойника. При этом минимальная скорость наблюдается у краев. Эти отстойники применяют при расходах сточных вод свыше 20 000 м<sup>3</sup>/сут. Глубина проточной части отстойника составляет 1,5-5 м, а отношение диаметра к глубине - от 6 до 30. Обычно используют отстойники диаметром 16-60 м. Эффективность радиальных отстойников составляет порядка 60%.

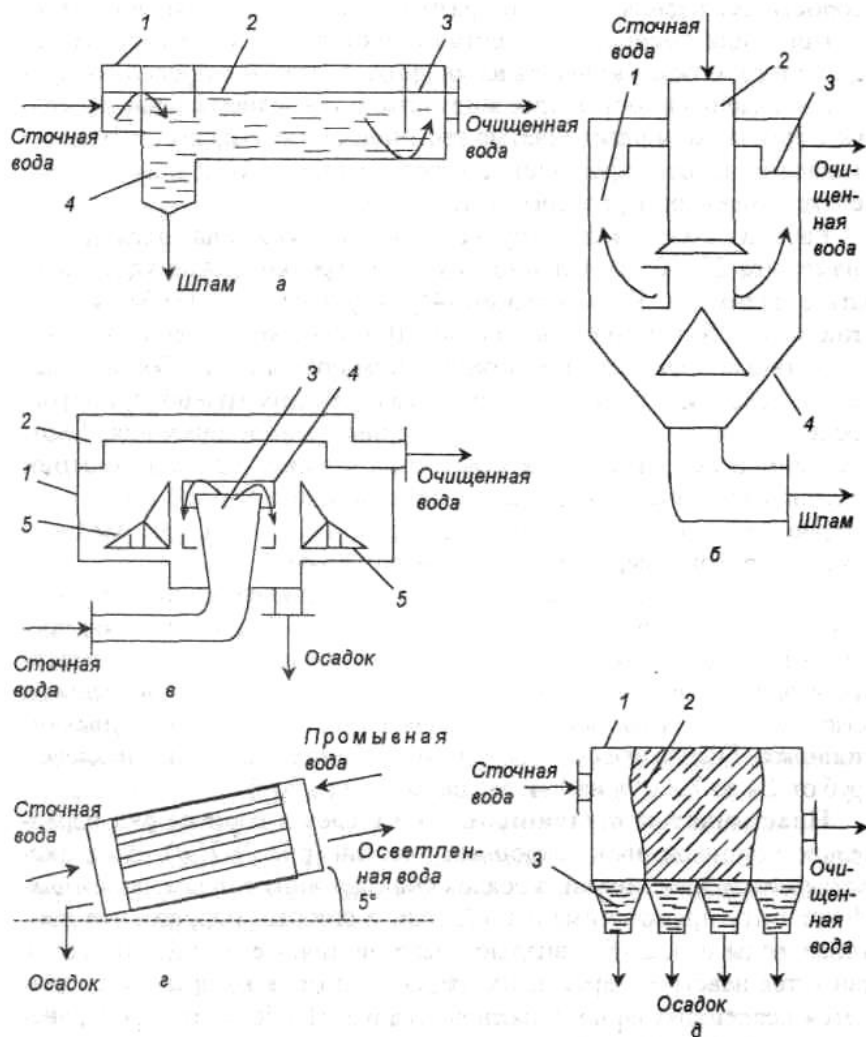


Рис.6. Отстойники:

- a* — горизонтальный: 1 — входной лоток, 2 — отстойная камера, 3 — выходной лоток, 4 — прямок; *б* — вертикальный: 1 — цилиндрическая часть, 2 — центральная труба, 3 — желоб, 4 — коническая часть; *в* — радиальный: 1 — корпус, 2 — желоб, 3 — распределительное устройство, 4 — успокоительная камера, 5 — скребковый механизм; *г* — трубчатый; *д* — с наклонными пластинами: 1 — корпус, 2 — пластины, 3 — шламоприемник.

## 2.2. Удаление всплывающих примесей

Процесс отстаивания используют не только для осаждения взвесей, но и для очистки производственных сточных вод от всплываю-

щих примесей (нефти, масел, смол, жиров и др.). Очистка от всплывающих примесей схожа осаждению твердых веществ, различие заключается лишь в том, что плотность всплывающих частиц меньше, чем плотность воды. Для улавливания частичек нефти применяют нефтеловушки (рис 7), а для улавливания жиров - жироловушки.

Схема горизонтальной прямоугольной нефтеловушки показана на рис.7, а.

Имеются также радиальные и полочные тонкослойные нефтеловушки, представляющие собой (рис.7, б) модернизированные конструкции горизонтальных нефтеловушек, имеющие меньшие габариты и которые являются более экономичными. Расстояние между полками принимается 50 мм, угол наклона полок 45°, время пребывания сточных вод в зоне отстаивания 2-4 мин, толщина слоя всплывающих нефтепродуктов 0,1 м; остаточное содержание их в воде 100 мг/л.

Сточные жиросодержащие воды подвергают очистке в жироловушках, которые устроены подобно нефтеловушкам. С целью увеличения эффективности очистки жиросодержащих сточных вод используют жироловушки с аэрацией поступающей сточной воды.

Скорость подъема частиц  $w_{вс}$  легкой жидкости зависит от размера частиц, плотности и вязкости, т. е. от числа  $Re = w_{вс} d \rho / \mu_0$ . В области  $Re < 0,25$  всплывание происходит по закону Стокса:

$$W_{вс} = d^2 g (\rho - \rho_{л}) / 18 \mu_0.$$

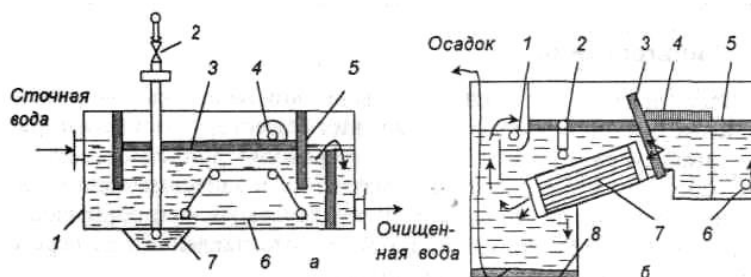


Рис.7. Нефтеловушки:

- а – горизонтальная: 1 – корпус, 2 – гидроэлеватор, 3 – слой нефти, 4 – нефтесборная труба, 5 – нефтеудерживающая перегородка, 6 – скребковый транспортер, б – тонкослойная: 1 – вывод очищенной воды, 2 – нефтесборная труба, 3 – перегородка, 4 – плавающий пенопласт, 5 – слой нефти, 6 – ввод сточной воды, 7 – секция из гофрированных пластин, 8 – осадок

Движение частицы легкой фазы вверх вызывает в сточной воде вторичные потоки, тормозящие подъем. Скорость подъема с учетом торможения равна:

$$W'_{вс} = w_{вс} (3\mu_{л} + 2\mu_0) / (3\mu_{л} + 3\mu_0),$$

где  $w'_{bc}$ , — скорость всплывания легкой жидкости, м/с;  $\rho$  — плотность всплывающей (легкой) жидкости;  $\mu_l$  — коэффициент динамической вязкости всплывающей жидкости.

На процесс разделения (всплытия капелек жира) оказывают влияние такие факторы как: турбулентность, коагуляция и др.

Отношение числа отстаившихся частиц легкой жидкости определенного размера к общему числу частиц легкой жидкости называют эффектом отстаивания  $\Phi$ . При условии равномерного распределения легкой жидкости в сточной воде (реальным условиям соответствует более сложный механизм процесса) он равен:

$$\Phi = w_{bc}L/wh,$$

где  $L$  — длина нефтеловушки;  $w$  — скорость сточной воды в нефтеловушке;  $h$  — высота слоя легкой жидкости от дна нефтеловушки.

### 2.3. Фильтрация

Процесс фильтрации, как правило, используют для выделения из сточных вод тонко диспергированных твердых или жидких веществ, удаление которых отстаиванием затруднено. Разделение проводят при помощи пористых перегородок, пропускающих жидкость и задерживающих диспергированную фазу. Процесс идет под действием гидростатического давления столба жидкости, наложением повышенного давления над перегородкой или созданием вакуума после перегородки.

Фильтрация через фильтрующие перегородки. Выбор перегородок зависит: от свойств сточной воды, ее температуры, давления фильтрации и конструкции фильтра.

В таких фильтрах в качестве перегородки используют металлические перфорированные листы и сетки из нержавеющей стали, алюминия, никеля, меди, латуни и др., а также разнообразные тканевые перегородки (асбестовые, стеклянные, хлопчатобумажные и др.).

Для химически агрессивных сточных вод при повышенной температуре и больших механических нагрузках используются металлические перфорированные перегородки или сетки.

В зависимости от используемого материала, перегородки разделяют на органические и неорганические, по принципу действия — на поверхностные и глубинные, а по структуре — на гибкие и негибкие.

Глубинные фильтровальные перегородки обычно используются

для очистки стоков с малыми концентрациями.

Производительность фильтра характеризуется скоростью фильтрования, т.е. объемом воды, прошедшей в единицу времени через фильтр (через единицу поверхности).

Для фильтрования применяются различные по конструкции фильтры, однако общим требованием к ним являются достаточно высокая эффективность выделения примесей и максимально возможная скорость фильтрования.

В системах очистки сточных вод используют фильтры как периодического действия (нутч-фильтры, листовые и фильтр-прессы), так и и фильтры непрерывного действия (барабанные, дисковые, ленточные).

Из фильтров периодического действия наиболее удобными в конструктивном плане, являются нутч - фильтры. Они предназначены для разделения нейтральных, кислых и щелочных суспензий. Фильтры представляют собой емкость с ложным перфорированным днищем, на котором закреплена фильтровальная ткань. Нижняя часть фильтра присоединяется к вакуумной системе через ресивер. Осадок, накапливающийся на ткани, удаляют вручную или механически.

Для разделения труднофильтруемых суспензий разработаны непрерывные высокопроизводительные барабанные вакуум-фильтры со сходящим полотном и поверхностью фильтрования до 40 м<sup>2</sup> (рис.8).

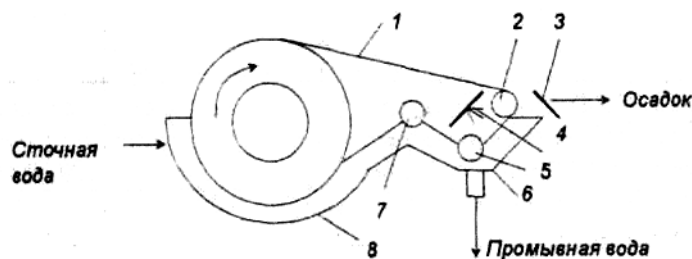


Рис.8. Барабанный вакуум-фильтр со сходящим полотном:

1 — фильтровальная ткань; 2, 5, 7 — ролики; 3 — нож; 4 — сопло для подачи промывной воды; 6 — лоток для удаления промывной жидкости; 8 — корыто

Фильтр с зернистой перегородкой представляет собой резервуар, в нижней части которого имеется дренажное устройство для отвода воды. На дренаж укладывают слой поддерживающего материала, а затем фильтрующий материал.

По характеру механизма задерживания взвешенных частиц различают два вида фильтрования: 1) фильтрование через пленку (осадок) загрязнений, образующуюся на поверхности зерен загрузки; 2)

фильтрация без образования пленки загрязнений. Фильтры с зернистым слоем подразделяют на *медленные* и *скоростные, открытые* и *закрытые*. Высота слоя в открытых фильтрах равна 1-2 м, в закрытых 0,5-1 м. Напор воды в закрытых фильтрах создается насосами.

Выбор типа фильтра для очистки сточных вод зависит от объема сточных вод, величины концентрации загрязнений и степени их дисперсности, физико-химических свойств твердой и жидкой фаз и от требуемой степени очистки.

Магнитные фильтры. Они также нашли широкое применение для удаления мелких ферромагнитных частиц (0,5-5 мкм) и обеспечивают степень очистки 80%. Кроме магнитных частиц, фильтры улавливают также абразивные частицы, песок и другие загрязнения. Этому способствует эффект электризации немагнитных частиц. Магнитные фильтры могут быть снабжены постоянным магнитом или электромагнитом, их производительность может достигать до 60 м<sup>3</sup>/ч.

Фильтрация эмульгированных веществ. При этом важное значение имеет характер поверхности: гидрофобная или гидрофильная поверхность. При гидрофобной поверхности прилипание частиц происходит сильнее.

Для удаления нефтепродуктов и масел могут быть использованы фильтры с загрузкой из пенополиуретана. Такие фильтры могут быть использованы при концентрации масел в исходной сточной воде до 1 г/л.

#### **2.4. Удаление взвешенных частиц под действием центробежных сил и отжиманием**

Осаждение взвешенных частиц под действием центробежной силы проводят в гидроциклонах и центрифугах.

Гидроциклоны. Для очистки сточных вод используют как напорные, так и открытые (низконапорные) гидроциклоны. Напорные гидроциклоны применяют в основном для осаждения твердых примесей, а открытые — для удаления осаждаемых и всплывающих примесей. Гидроциклоны просты по устройству, компактны, просты в эксплуатации. Они отличаются высокой производительностью и небольшой стоимостью.

Механизм очистки. При очистке сточных вод в гидроциклонах используются центробежные силы, отбрасывающие тяжелые частицы при их вращении внутри циклона к периферии потока, силы сопротивления движущегося потока и относительно небольшие по ве-

личине гравитационные силы. При высоких скоростях вращения центробежные силы значительно больше сил тяжести.

Из напорных гидроциклонов наибольшее распространение получил аппарат конической формы (рис.9, *a*).

Принцип работы. Сточная вода тангенциально подается внутрь гидроциклона. При вращении жидкости под действием центробежной силы внутри гидроциклона образуется ряд потоков. Жидкость, войдя в цилиндрическую часть, приобретает вращательное движение и движется около стенок по винтовой спирали вниз к сливу. Часть ее с крупными частицами удаляется из гидроциклона. Другая часть (осветленная) поворачивает и движется вверх около оси гидроциклона и отводится сверху для дальнейшей переработки. Эффективность гидроциклонов находится на уровне 70%.

**Открытые (безнапорные) гидроциклоны.** Их применяют в основном для очистки сточных вод от крупных примесей (гидравлической крупностью 5 мм/с и более). Кроме того гидроциклоны могут применяться и для сгущения осадков (суспензий) и для удаления всплывающих примесей. От напорных гидроциклонов открытые гидроциклоны отличаются большей производительностью и меньшим гидравлическим сопротивлением (рис. 9, *b*).

Сточную воду тангенциально подают в пространство, ограниченное внутренним цилиндром. Поток по спирали движется вверх. Дойдя до верха цилиндра, он разделяется на два потока. Один из них (осветленная вода) движется к центральному отверстию диафрагмы и, пройдя ее, попадает в лоток слива осветленной воды. Другой поток со взвешенными частицами направляется в пространство между стенками цилиндра и гидроцилиндра и поступает в коническую его часть.

**Многоярусные гидроциклоны.** В многоярусных гидроциклонах установлены в несколько ярусов конические диафрагмы, которые работают самостоятельно. В этой конструкции также использован принцип тонкослойного отстаивания (более полное использование объема аппарата, уменьшение времени пребывания при одинаковой степени очистки). Схема гидроциклона показана на рис.9, *z*.

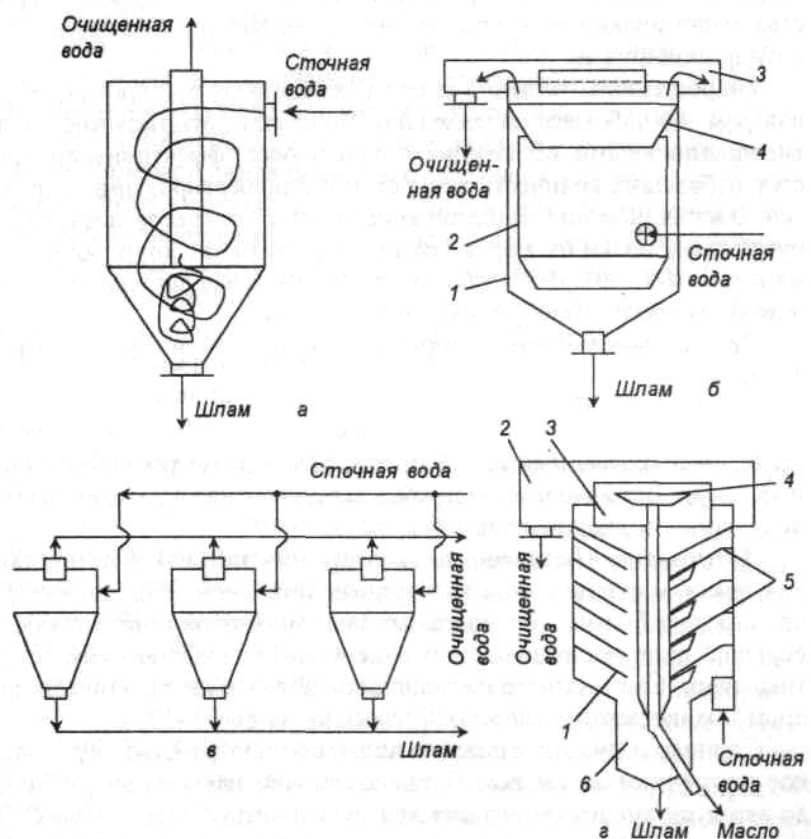


Рис.9. Гидроциклоны:

- а* — напорный; *б* — с внутренним цилиндром и конической диафрагмой: 1 — корпус, 2 — внутренний цилиндр, 3 — кольцевой лоток, 4 — диафрагма;  
*в* — блок напорных гидроциклонов; *г* — многоярусный гидроциклон с наклонными патрубками для отвода очищенной воды: 1 — конические диафрагмы, 2 — лоток, 3 — водослив, 4 — маслосборная воронка, 5 — распределительные лотки, 6 — шламоотводящая щель

**Центрифуги.** Для удаления осадков из сточных вод могут быть использованы фильтрующие и отстойные центрифуги. Центробежное фильтрование достигается вращением суспензии в перфорированном барабане, обтянутом сеткой или фильтровальной тканью. Осадок остается на стенках барабана. Его удаляют вручную или ножевым съемом. Такое фильтрование наиболее эффективно, когда надо получать продукт с наименьшей влажностью и требуется промывка осадка.

Фильтрующие центрифуги применяют для разделения суспензий, когда требуется высокая степень обезвоживания осадка и эффективная его промывка, а также в тех случаях, когда используется обезвоженный осадок и достаточно чистый фильтрат.

Центрифуги могут быть периодического или непрерывного действия; горизонтальными, вертикальными или наклонными; различаются по расположению вала в пространстве; по способу выгрузки осадка из ротора (с ручной, ножевой, поршневой, шнековой или центробежной выгрузкой). Они могут быть в герметизированном и не-



герметизированном исполнении.

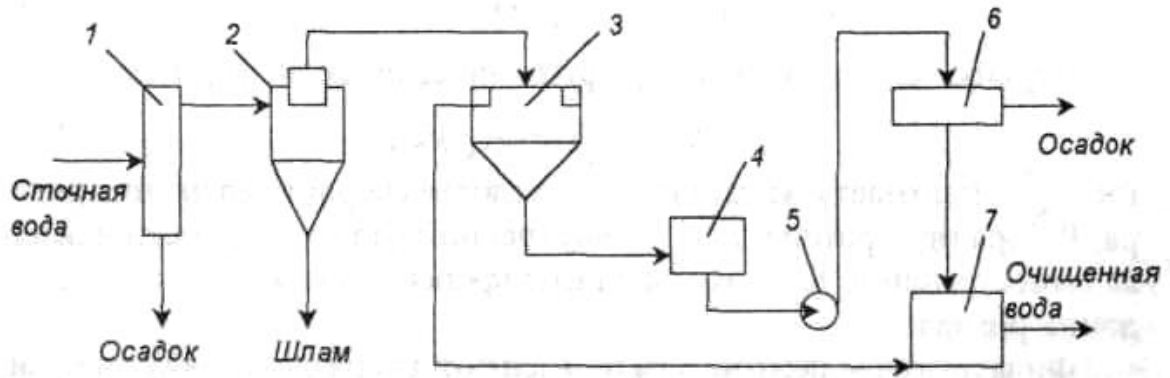


Рис.10. Схема установки удаления осадка из сточной воды на центрифуге:  
1 — решетка; 2 — гидроциклон; 3 — уплотнитель осадка; 4, 7 — емкости; 5 — насос; 6 — центрифуга

Схема очистки воды на центрифугах представлена на рис.10. Из сточной воды сначала удаляется крупный осадок на решетках, а затем песок в гидроциклоне. После уплотнения осадка его удаляют из центрифуги.

## Глава 3. Основные физико-химические методы очистки сточных вод

К физико-химическим методам очистки сточных вод обычно относятся коагуляция, флотация, адсорбция, ионный обмен, экстракция, ректификация, выпаривание, дистилляция, обратный осмос и ультрафильтрация, кристаллизация, десорбция и др.

Выбор того или иного метода физико-химической очистки (комплекса методов) осуществляют с учетом санитарно-гигиенических и производственных требований, предъявляемых к очищенным водам с целью дальнейшего их эффективного использования применения.

### 3.1. Коагуляция и флокуляция

Процесс коагуляции. Коагуляцией называется процесс укрупнения взвешенных дисперсных частиц в результате взаимодействия их с частицами коагулянта с последующим объединением в агрегаты. В очистке сточных вод коагуляцию применяют с целью ускорения процесса осаждения тонкодисперсных примесей и эмульгированных веществ. Коагуляция наиболее эффективна для удаления из воды коллоидно-дисперсных частиц (порядка 3—100 мкм.) В процессах очистки сточных вод коагуляция примесей обычно происходит под влиянием добавляемых к ним коагулянтов. Коагулянты, введенные в сточную воду в определенных концентрациях, образуют хлопья гидроксидов металлов, которые быстро оседают под действием силы тяжести. При этом эти хлопья в дальнейшем начинают улавливать коллоидные и взвешенные частицы и агрегировать (укрупнять) их. Ввиду того, что коллоидные частицы имеют слабый отрицательный заряд, а хлопья коагулянтов слабый положительный заряд, то между ними возникает взаимное притяжение, приводящее к образованию агрегатов.

В качестве коагулянтов обычно используют соли алюминия, железа. Возможно также применение их смесей. Выбор коагулянта определяется составом сточной воды, количеством загрязнителей, стоимостью коагулянта, от рН и т.д.

Оптимальную дозу реагента устанавливают на основании эксперимента.

Флокуляция. Этот процесс несколько схож с процессом коагуляции, однако имеет некоторые отличия. Флокуляцией называется агрегация взвешенных частиц при добавлении в сточную воду флокулянтов, в качестве которых обычно выступают высокомолекулярные

соединения. В случае флокуляции агрегация происходит не только при непосредственном контакте частиц, но и в результате взаимодействия молекул адсорбированного на частицах взвеси флокулянта.

Флокуляцию проводят обычно с целью ускорения процесса образования хлопьев гидроксидов алюминия и железа с целью повышения скорости их осаждения. Применение флокулянтов в то же время позволяет снизить количества коагулянтов, ускорить процесс коагуляции и увеличить скорость осаждения образующихся хлопьев. При этом повышается агрегативная устойчивость системы.

При очистке сточных вод используют как природные (крахмал, декстрин, эфиры целлюлозы,  $(xSiO_2 * yH_2O)$  и др.), так и синтетические (полиакриламид  $[-CH_2 -CH-CONH_2]_n$ , технический (ПАА) и гидролизированный (ГППА) флокулянты.

Механизм действия флокулянтов основан на следующих основных явлениях: адсорбции молекул флокулянта на поверхности коллоидных частиц; ретикуляции (образование сетчатой структуры) молекул флокулянта; слипанию коллоидных частиц за счет сил Ван-дер-Ваальса. При действии флокулянтов между коллоидными частицами образуются объемные трехмерные структуры, способные к более быстрому и полному отделению от жидкой фазы. Одной из причин возникновения таких структур является адсорбция макромолекул флокулянта на нескольких частицах с образованием между ними полимерных мостиков.

Основные этапы процесса коагуляции и флокуляции: 1) дозирование и смешение реагентов со сточной водой; 2) хлопьеобразование; 3) осаждение хлопьев (рис.11).

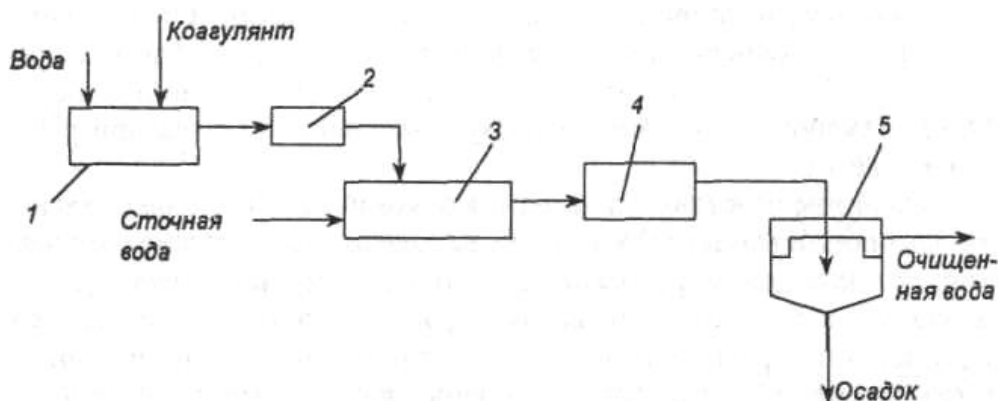


Рис.11. Схема установки для очистки вод коагуляцией:

1 — емкость; 2 — дозатор; 3 — смеситель; 4 — камера хлопьеобразования; 5 — отстойник

### 3.2. Флотация

Процесс флотации применяют для удаления из сточных вод нерастворимых диспергированных примесей (взвесей), которые самопроизвольно плохо отстаиваются. Реже процесс флотации используют и для удаления растворенных веществ (ПАВ). Тогда такой процесс называется пенной сепарацией или пенным концентрированием. Флотацию широко применяют для очистки сточных вод многих производств, таких как нефтеперерабатывающие, целлюлозно-бумажные, кожевенные, машиностроительные и др. Кроме вышеперечисленных областей применения флотация может также использоваться для выделения активного ила после биологической очистки сточных вод.

Процесс флотации, по сравнению с другими методами обладает следующими достоинствами: непрерывность процесса, широкая область ее применения, относительно небольшие капитальные и эксплуатационные материальные затраты, простота используемого оборудования, избирательность при очистке от загрязнений, относительно отстаивания высокая скорость очистки. Кроме того, выделенные вещества имеют меньшую влажность, и могут быть подвержены дальнейшей переработке с целью извлечения ценных компонентов. По сравнению с другими методами очистки, флотация имеет достаточно высокое значение эффективности очистки. Помимо этого, при флотации происходит дополнительная аэрация, приводящая к уменьшению концентрации окисляемых веществ.

Элементарный акт флотации заключается в следующем: при сближении поднимающегося в воде пузырька воздуха (или газа) с твердой гидрофобной частицей разделяющая их прослойка воды при некоторой критической толщине прорывается и происходит слипание пузырька с частицей. После чего комплекс частица — пузырек поднимается на поверхность воды, где пузырьки объединяются в пенный слой с более высокой концентрацией частиц, чем в исходной сточной воде.

При закреплении пузырька образуется трехфазный периметр-линия, ограничивающая площадь прилипания пузырька и являющийся границей трех фаз — твердой, жидкой и газообразной. Касательная к поверхности пузырька в точке трехфазного периметра и поверхность твердого тела образуют обращенный в воду угол  $\Theta$ , называемый краевым углом смачивания (рис. 12). На процесс флотации влияет смачиваемость (гидрофильность) частиц. Вероятность прилипания зави-

сит от смачиваемости частицы, которая характеризуется величиной краевого угла  $\theta$ . Чем больше краевой угол смачивания, тем больше вероятность прилипания и прочность удерживания пузырька на поверхности частицы.

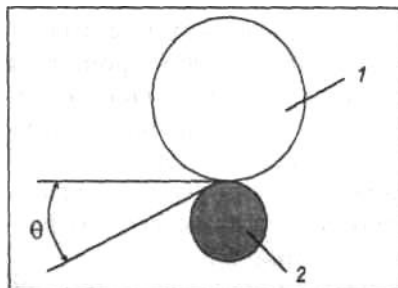


Рис. 12. Элементарный акт флотации:  
1 — пузырек газа; 2 — твердая частица

Эффект разделения флотацией зависит также от размера и количества пузырьков воздуха. По экспериментальным данным, оптимальный размер пузырьков должен быть в пределах 15-30 мкм. Чем больше пузырьков, тем больше вероятность столкновения их с частицами взвесей, тем выше эффективность очистки. Для стабилизации пузырьков при флотации иногда вводятся пенообразователи (крезол, фенолы, алкилсульфат натрия и др.). Вес частиц не должен превышать силы прилипания ее к пузырьку и подъемной силы пузырьков. Размер частиц, которые хорошо флотируются, зависит от плотности материала и равен примерно 0,2-1,5 мм.

Флотационная очистка в зависимости от способа образования пузырьков, различается на следующие виды: с выделением воздуха из растворов; с механическим диспергированием воздуха; с подачей воздуха через пористые материалы, электрофлотацию и химическую флотацию.

Флотация с выделением воздуха из раствора. В этом способе выделяют вакуумную, напорную и эрлифтную флотацию.

При вакуумной флотации сточная вода первоначально насыщается воздухом при атмосферном давлении в аэрационной камере, а затем она поступает в герметичную флотационную камеру, где вакуум-насосом поддерживается определенное разрежение (30-40 кПа). За счет падения давления из сточной воды выделяются пузырьки воздуха, которые поднимают загрязнители к верху флотационной камеры. Этот способ флотации имеет следующее основное достоинство: образование пузырьков газа и их слипание с частицами происходит в спокойной среде при минимальных энергозатратах. Однако

существуют и определенные недостатки: сточная вода имеет низкую степень насыщения, что определяет некоторые ограничения данного способа при очистке стоков с высокой концентрацией загрязнителей. Самый существенный недостаток – сложное изготовление и трудная эксплуатация герметичного флотатора при постоянном подводе стоков и отводе продуктов очистки.

Напорные установки, в отличие от вакуумных, имеют большее распространение. Они относительно просты по конструкции и надежны в эксплуатации. При напорной флотации возможно очищать сточные воды с концентрацией взвесей до 5000 мг/л. Установки напорной флотации при гораздо меньших габаритах по сравнению, например, с нефтеловушками, позволяют проводить очистку с большей эффективностью. Процесс напорной флотации протекает в две основные стадии: 1) стоки предварительно насыщаются под давлением воздухом; 2) выделение растворенного газа во флотационной камере при атмосферном давлении (рис. 13).

Сточная вода на первой стадии процесса поступает в приемный резервуар, откуда ее перекачивают насосом, во всасывающий трубопровод которого засасывается воздух. Образующуюся водно-воздушную смесь направляют в напорный бак, где при избыточном давлении (до 0,4 МПа) воздух растворяется в воде. На второй стадии насыщенные воздухом стоки поступают во флотатор, который работает при атмосферном давлении, при этом воздух выделяется в виде пузырьков, которые далее флотируют взвешенные частицы.

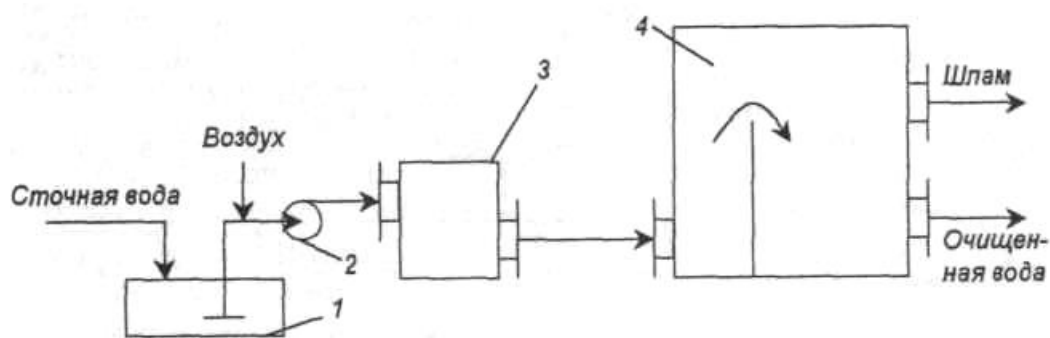


Рис. 13. Схема установки напорной флотации:  
1 — емкость; 2 — насос; 3 — напорный бак; 4 — флотатор

Образовавшаяся пена удаляется с поверхности воды скребковым механизмом, а очищенная вода выходит из нижней части флотатора.

**Флотация с механическим диспергированием воздуха.** В этом случае используются импеллерные, пневматические и безнапорные

установки.

В импеллерных флотационных машинах диспергирование воздуха производится турбинками — импеллерами, которые представляют собой диск с радиальными обращенными вверх лопатками. Они нашли применение в случае высоких концентраций (до 2 г/л и более) загрязнителей. Суть процесса заключается в образовании множества мелких вихревых потоков, из которых впоследствии и выделяются пузырьки при большой скорости вращения импеллера. Степень очистки прямо пропорциональна скорости вращения импеллера.

Пневматические флотационные установки нашли применение для очистки сточных вод, которые содержат агрессивные по отношению к механизмам, имеющим движущиеся части, растворенные примеси.

Измельчение пузырьков воздуха в пневматических установках достигается при пропускании его через специальные сопла на воздухораспределительных трубках. Обычно применяют сопла с отверстиями диаметром порядка 1,0 мм. Продолжительность флотации осуществляется в течение 20-25 мин.

**Безнапорные установки.** Такие установки похожи на установки напорной флотации (рис. 13), но без напорного бака. Диспергирование воздуха в них происходит за счет завихрений, которые возникают при вращении рабочего колеса центробежного насоса. Но при этом образуются более крупные пузырьки, не способные флотировать мелкие взвеси.

#### **Флотация при помощи пористых пластин.**

Преимущества данного способа флотации по сравнению с другими: простота конструкции флотатора; значительно меньшие энергозатраты вследствие отсутствия насосов. К недостаткам этого метода можно отнести засорение (довольно часто) и зарастание отверстий пористого материала.

**Другие способы флотации.** К ним относятся химическая, биологическая и ионная флотации.

**Химическая флотация.** При химической флотации для протекания химических реакций с образованием газов ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $Cl_2$ ) в сточную воду добавляют реагенты. Пузырьки этих газов при определенных условиях могут прилипать к нерастворимым взвешенным частицам и флотировать их. Схема флотационной камеры для химической флотации показана на рис. 14. Сточные воды поступают в реакционную камеру. Туда же подают реагенты. Основным недостатком

метода является большой расход реагентов

Биологическая флотация. Этот метод применяют в основном для уплотнения осадка из первичных отстойников при очистке хозяйственных сточных вод. Этим методом удобно снижать влажность осадков, идущих на следующие стадии их переработки.

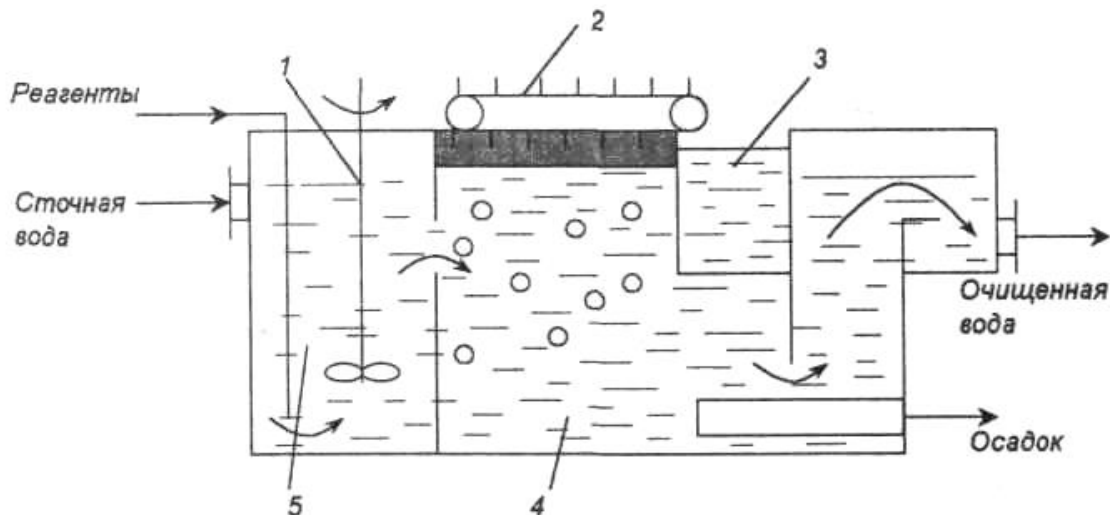


Рис. 14. Схема установки для химической флотации:  
1 — мешалка; 2 — скребок; 3 — шламоприемник; 4 — флотационная камера;  
5 — реакционная камера

Ионная флотация. Суть данного метода заключается в следующем: в сточную воду вводят воздух, диспергируя его на пузырьки каким-либо известным способом, и так называемый собиратель (прежде всего ПАВы). Собиратель образует в воде ионы, которые имеют заряд, противоположный заряду извлекаемого иона. Ионы собирателя и загрязнений концентрируются на поверхности газовых пузырьков и выносятся им в пену. Пену собирают, удаляют из флотационной камеры и разрушают с последующим извлечением из нее сконцентрированных ионов удаляемого вещества.

### 3.3. Адсорбция

Адсорбция является довольно эффективным методом извлечения загрязнений при глубокой очистке сточных вод от растворенных органических или сильнотоксичных веществ. или являются сильнотоксичными. Адсорбцию также используют для обезвреживания сточных вод от фенолов, ароматических нитросоединений, красителей и др. Достоинством метода является его высокая эффективность, использование для очистки многокомпонентных (в плане загрязнителей) сточных вод, содержащих несколько веществ с последующим извлечением этих веществ.



Адсорбционная очистка делится на регенеративную (восстановление извлеченных компонентов) и деструктивную, при которой извлеченные из сточных вод вещества уничтожаются вместе с адсорбентом. Эффективность адсорбционной очистки довольно высока и может достигать 95% и зависит от химической природы адсорбента, величины адсорбционной поверхности (емкости), от природы вещества и его состояния в стоке.

Адсорбенты. Наибольшее распространение в качестве сорбентов получили активные угли, синтетические сорбенты и некоторые отходы производства (зола, шлаки, опилки и др.). Среди сорбентов приоритет принадлежит активным (активированным) углям. Угли должны быть достаточно прочными, не разрушаться при работе с ним, быстро смачиваться водой и иметь определенный гранулометрический состав. В процессе очистки сточных вод обычно применяются мелкозернистые угли с частицами размером порядка 0,25-0,5 мм и высокодисперсные угли с частицами размером менее 40 мкм.

С другой стороны необходимо, чтобы угли обладали малой каталитической активностью по отношению к некоторым химическим реакциям (окисления, конденсации и др.), так как некоторые органические вещества, находящиеся в сточных водах, способны окисляться и осмоляться, которые в последующем могут забивать поры адсорбента, что затрудняет его регенерацию. Активные угли также не должны иметь высокую стоимость. Сырьем для производства активных углей служат, как правило, углеродсодержащие вещества. Характеристика марок некоторых активных углей приведена в табл. 4.

Скорость процесса адсорбции зависит от концентрации природы и структуры растворенных веществ, температуры воды, вида и свойств адсорбента. В процессе адсорбции проявляются три стадии: 1) перенос вещества из сточной воды к поверхности зерен адсорбента (внешне диффузионная область), 2) собственно адсорбционный процесс, 3) перенос вещества внутри зерен адсорбента (внутридиффузионная область).

Таблица 4

## Характеристики некоторых отечественных активных углей

Марка	Объем, см <sup>3</sup> /г				Поверхность, м <sup>2</sup> /г		Крупность, мм	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность по МИС, %
	суммарный	микропор	переходный	макропор	Суммарная	переходных пор			
ОУ-А	2,38	0,26	0,27	1,78	805	138	—	—	—
ОУ-Б	—	0,39	0,21	—	—	138	—	—	—
КАД-	0,42	0,11	—	—	—	64	—	—	—
АГ-2	0,60	0,30	0,05	0,25	—	33	1,5-2	600	65-70
АГ-3	0,8-1,06	0,32-0,42	0,12-0,16	0,41-0,52	—	—	1,5-2,8	450	75
АГ-5	0,9-1,06	0,3-0,43	0,17	0,46	—	—	1-1,5	450	75
КАД-	1	0,34	0,15	0,51	977	110	2-5	380-450	60
СКТ	0,98	0,51	0,2	0,27	—	108	1,5-2	420	65
СКТ-3	0,80	0,46	0,09	0,25	—	—	20-55	420-470	70
АР-3	0,7	0,33	0,07	0,30	—	48	2,7-5,5	550	65-75
БАУ	1,5	0,25-0,39	0,08	0,19-0,21	—	50-60	1-5	220-350	—
ДАК	1,2-1,45	0,17	0,04	1,23	—	30	0,5-15	230	—

**Адсорбционные установки.** Адсорбцию загрязнений из сточной воды осуществляют в условиях интенсивного перемешивания адсорбента с водой, при фильтровании воды через неподвижный или движущийся слой адсорбента или в псевдоожиженном слое на установках периодического и непрерывного действия.

**Установки при перемешивании адсорбента с водой.** При смешивании адсорбента с водой применяют активный уголь в виде частиц 0,1 мм и меньше. Процесс проводят в одну или несколько ступеней.

Статическая одноступенчатая адсорбция нашла применение лишь в тех случаях, когда адсорбент очень дешев или является отходом какого-либо производства. С большей эффективностью (также при меньшем количестве адсорбента) процесс протекает в несколько ступеней. Схема такой многоступенчатой установки показана на рис. 15, а.

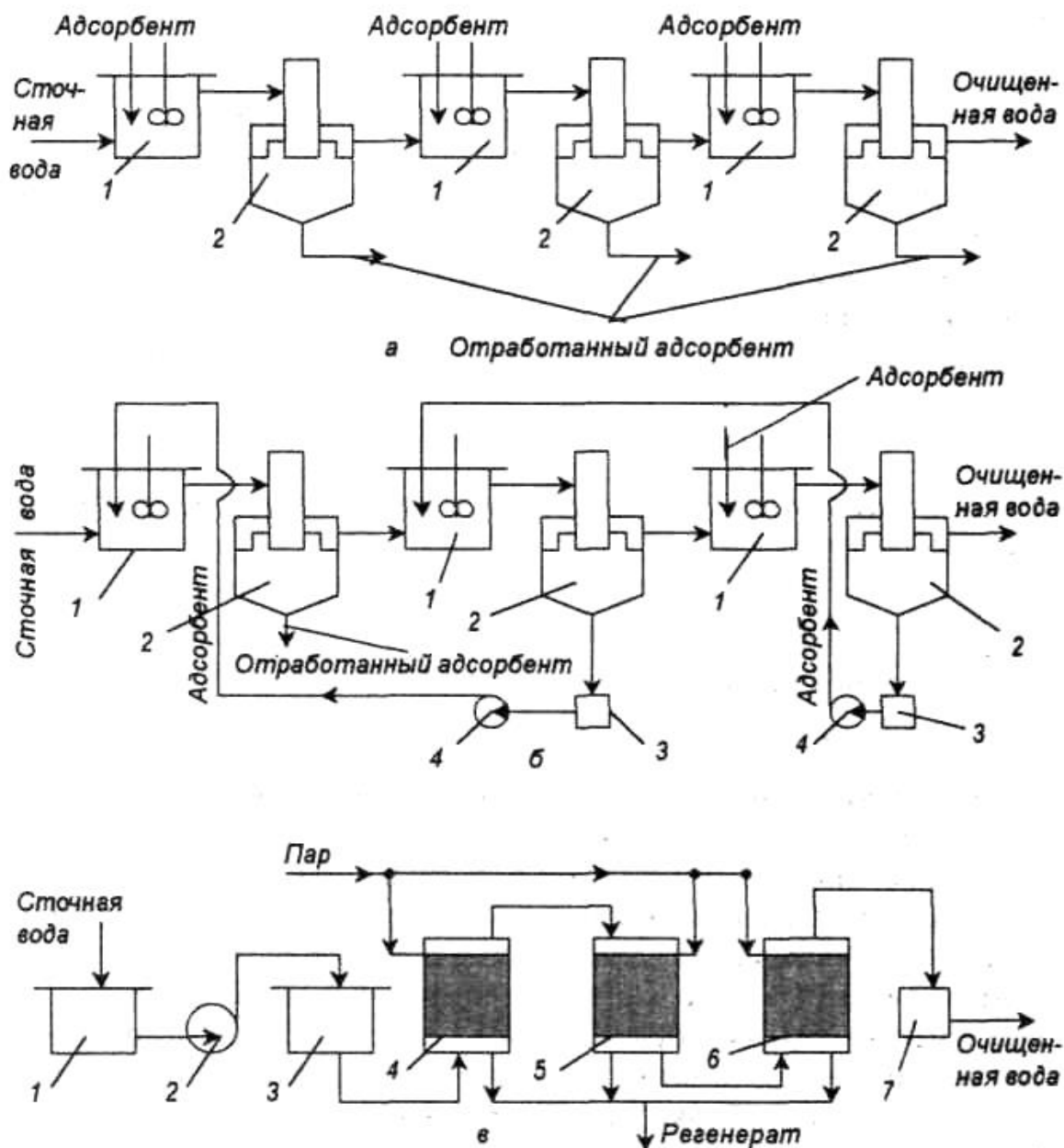


Рис. 15. Схемы адсорбционных установок:

- а* — с последовательным введением адсорбента: 1 — Смесители, 2 — отстойники; *б* — с противоточным введением адсорбента: 1 — смесители, 2 — отстойники, 3 — приемники адсорбента, 4 — насосы; *в* — непрерывного действия: 1 — усреднитель, 2 — насос, 3 — фильтр, 4-6 — колонны, 7 — емкость

В противоточной схеме (рис, 15,*б*) адсорбент вводят однократно в последнюю ступень, и он движется навстречу сточной воде. По этой схеме процесс очистки ведут непрерывно, и при этом расход сорбента гораздо меньше расхода сорбента по схеме (рис. 15,*а*).

**Конструкции адсорберов.** Некоторые типы адсорберов приведены на рис. 16. Достоинство аппаратов: возможность использования мелкозернистого абсорбента с большой поверхностью; большая про-

изводительность; простота конструкции и небольшое гидравлическое сопротивление. Применяются адсорберы различных типов. Схема цилиндрического одноярусного адсорбера с псевдоожиженным слоем показана на рис. 16, а.

Известны также одноярусный адсорбер с выносным смесителем (рис. 16, б) и трехъярусный адсорбер с переливными трубками (рис. 16, в).

Регенерация адсорбента. Эта стадия необходима для возврата отработавшего сорбента в цикл после его регенерации с одной стороны, и для выделения из сорбента уловленных веществ. Адсорбированные вещества из угля выделяют несколькими способами: воздействием пригретым водяным паром или горячим инертным газом.

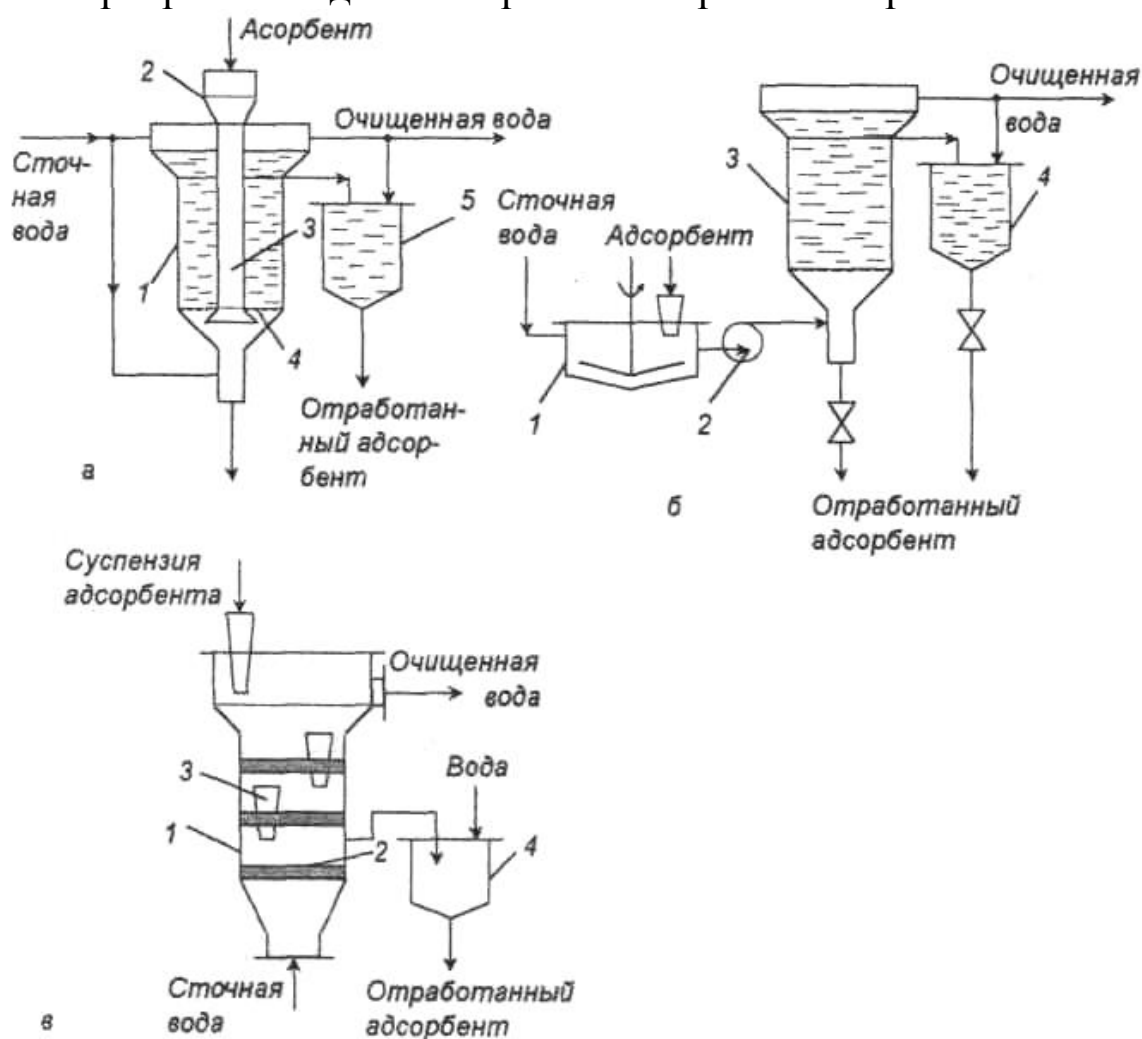


Рис. 16. Адсорберы:

- а — цилиндрический одноярусный: 1 — колонна, 2 — воронка, 3 — труба, 4 — решетка, 5 — сборник;
- б — одноярусный с выносным смесителем: 1 — смеситель, 2 — насос, 3 — колонна, 4 — сборник;
- в — трехъярусный: 1 — колонна, 2 — решетки, 3 — трубка для перемещения адсорбента, 4 — сборник

### 3.4. Ионный обмен

Процесс ионообменной очистки применяется для удаления из сточных вод металлов (цинка, меди, хрома, никеля, свинца, ртути, и др.), а также соединений мышьяка, фосфора, цианистых соединений и радиоактивных веществ. Ионообменная очистка проводится в ионообменных колоннах (рис. 17). Метод позволяет выделять ценные вещества при высокой степени очистки воды. Ионный обмен также широко распространен при обессоливании воды.

**Механизм процесса ионного обмена.** Ионный обмен - это процесс взаимодействия раствора с твердой фазой (ионитом), обладающей свойствами обменивать ионы, содержащиеся в ней, на другие ионы, присутствующие в растворе. Иониты делятся на две группы: катиониты – поглощающие из воды катионы и аниониты – поглощающие анионы. Первые обладают кислотными свойствами, вторые — основными. Иониты, которые обменивают и катионы, и анионы, называются амфотерными.

Поглотительная способность ионитов характеризуется обменной емкостью, которая определяется числом эквивалентов ионов, поглощаемых единицей массы или объема ионита. Различают полную, статическую и динамическую обменные емкости.

**Природные и синтетические иониты.** Иониты (катиониты и аниониты) бывают неорганические (минеральные) и органические, природные и искусственные (синтетические)

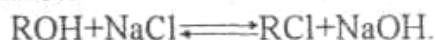
Иониты неорганического природного происхождения – к ним можно отнести цеолиты, глины, полевые шпаты и др. Катионообменные, свойства их обусловлены содержанием алюмосиликатов типа  $\text{Na}_2\text{OAl}_2\text{O}_3n\text{SiO}_2n\text{H}_2\text{O}$ . Ионообменными свойствами обладает также фторапатит  $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3]\text{F}$  и гидроксидапатит  $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3]\text{OH}$ . Неорганические синтетические иониты - силикагели, пермутиты, и др. Иониты выпускают в виде порошка (размер частиц 0,04-0,07 мм), зерен (0,3-2,0 мм), волокнистого материала, листов и плиток. порошкообразные — со слоями высотой 3-10 мм.

Ряд смол имеет произвольное назначение (Н, НО, ВС). Некоторые названия отражают состав смол: СДВ — стиролдивинилбензол; ЭДЭ — этилендиаминэтиленхлоргидрин; МСФ — моносulfат и др. В последнее время в маркировке смол для катионитов употребляют букву К, а для обозначения анионитов — А. Буква В — (после А) записывается для высокоосновных анионитов, буква Н — для низкоосновных анионитов.

Основы процесса ионного обмена. Реакция ионного обмена протекает следующим образом: при контакте с катионитом



при контакте с анионитом



Ионный обмен происходит в эквивалентных отношениях и в большинстве случаев является обратимым. Реакции ионного обмена протекают вследствие разности химических потенциалов обменивающихся ионов. В общем виде эти реакции можно представить следующим образом:



**Регенерация ионитов.** Катиониты регенерируют 2-8% растворами кислот. При этом они переходят в H-форму. Регенерационные растворы — элюаты содержат катионы. Затем после взрыхления и промывки катиониты заряжаются, например, в Na-форму путем пропускания через них раствора поваренной соли. Отработанные аниониты регенерируют 2-6% растворами щелочи. Аниониты при этом переходят в OH-форму.

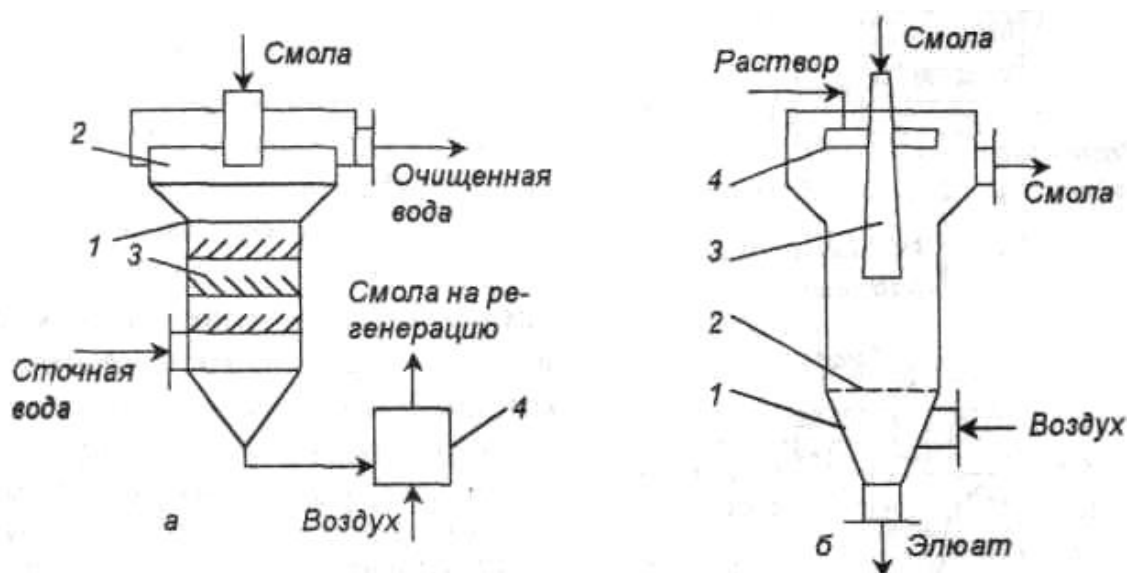


Рис. 17. Колонны для ионообменной очистки:

- а — с тарелками провального типа: 1 — корпус, 2 — разделительная зона, 3 — тарелки, 4 — эрлифт; б — регенерационная пневмопультационная: 1 — колонна, 2 — решетка, 3 — труба, 4 — распределитель раствора

### 3.5. Экстракция

Метод экстракции используют для очистки сточных вод, содержащих фенолы, масла, ионы металлов и др. Метод экстракции используется в экономически выгодных случаях: высокая (до 4 г/л) концентрация и дороговизна извлекаемого компонента.

Процесс экстракции состоит из трех основных стадий: 1) энергичное смешивание сточной воды с экстрагентом (как правило, органическим растворителем). При этом две жидкие фазы. Одна фаза — экстракт содержит извлекаемое вещество и экстрагент, другая — рафинат — сточную воду и экстрагент; 2) разделение экстракта и рафината; 3) регенерация экстрагента из экстракта и рафината.

Экстрагент подбирают таким образом, чтобы он максимально отвечал требованиям:

- иметь высокий коэффициент распределения;
- обладать большой избирательностью растворения;
- обладать высокой растворяющей отношением к извлекаемому компоненту;
- плохо растворяться в сточной воде и не образовывать устойчивых эмульсий;
- намного отличаться по плотности от сточной;
- обладать большим коэффициентом диффузии;
- иметь температуру кипения, намного отличающуюся от температуры экстрагируемого вещества;
- не реагировать с извлекаемым веществом;
- не быть вредным, взрыво- и огнеопасным и не вызывать коррозию материала аппаратов; иметь небольшую стоимость.

Для очистки сточных вод часто применяют процессы провоточной многоступенчатой экстракции и непрерывной провоточной экстракции. (рис 18).

Жидкостная экстракция также используется для извлечения металлов из сточных вод.

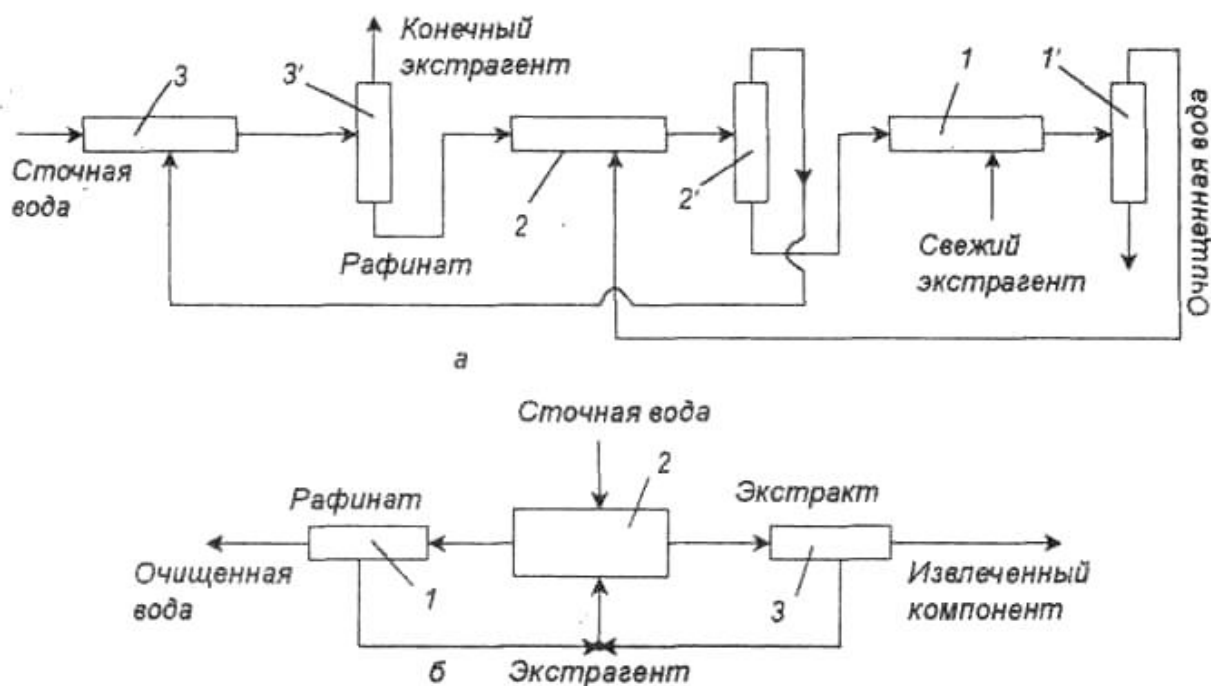


Рис. 18. Схемы экстракционных установок:  
 а — схема многоступенчатой противоточной экстракции: 1-3 — смесители, 1'—3' — отстойники; б — схема непрерывной противоточной экстракции с регенерацией экстрагента из экстракта и рафината: 1 — система для удаления экстрагента из рафината, 2 — колонна, 3 — система для удаления экстрагента из экстракта

### 3.6. Обратный осмос и ультрафильтрация

Обратным осмосом и ультрафильтрацией называют процессы фильтрования растворов через полупроницаемые мембраны под давлением, превышающим осмотическое давление (рис. 19). Мембраны пропускают молекулы растворителя и не пропускают растворенные вещества. При обратном осмосе отделяются частицы (молекулы, гидратированные ионы), размеры которых не превышают размеров молекул растворителя. При ультрафильтрации размер отдельных частиц  $d_{ч}$  на порядок больше. Условные границы применения этих процессов приведены ниже:

Процесс	Обратный осмос	Ультрафильтрация	Макрофильтрация
$d_{ч}$ , мкм	0,0001—0,001	0,001—0,02	0,02—10



Таким образом, от обычной фильтрации (макрофильтрации) такие процессы отличаются отделением частиц меньших размеров. Давление, необходимое для проведения процесса обратного осмоса (6-10 МПа), значительно больше, чем для процесса ультрафильтрации (0,1-0,5 МПа).

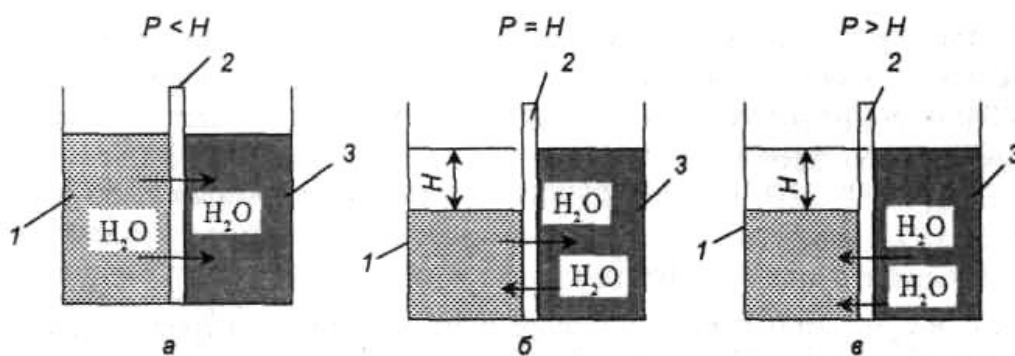


Рис. 19. Схемы осмоса

( $H$  — осмотическое давление;  $P$  — рабочее давление):

а — прямой осмос; б — осмотическое равновесие; в — обратный осмос; 1 — чистая вода; 2 — мембрана; 3 — раствор

Обратный осмос нашел широкое применение в силу своей высокой эффективности в самых различных отраслях в водоподготовке, водоочистке сточных вод и т.д. Типовая обратноосмотическая установка включает только насос высокого давления, мембранного модуля и системы трубопроводов и резервуаров (рис. 20).

Эффективность процесса обратного осмоса во многом зависит от свойств применяемых мембран. Мембраны должны отвечать следующими требованиями: 1) обладать высокой разделяющей способностью (селективностью); 2) большой пропускной способностью (производительностью или проницаемостью); 3) устойчивостью к действию среды; 4) сохранение эксплуатационных характеристик в течение продолжительного времени; 5) высокой механической прочностью, и низкой стоимостью.

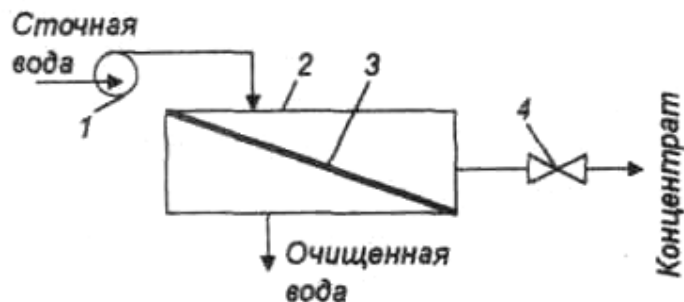


Рис. 20. Схема установки обратного осмоса:

1 — насос высокого давления; 2 — модуль обратного осмоса; 3 — мембрана; 4 — выпускной клапан

Селективность  $\phi$  (в %) процесса разделения определяют по формуле:

$$\phi = 100(c_o - c_\phi) / c_o = 100(1 - c_\phi / c_o),$$

где  $c_o$  и  $c_\phi$  — концентрации рассоренного вещества соответственно в исходной сточной воде и фильтрате.

Для процесса ультрафильтрации реализуется другой механизм разделения. Растворенные вещества задерживаются на мембране потому, что размер молекул их больше, чем размер пор, или вследствие трения молекул о стенки пор мембраны. В действительности же в процессе обратного осмоса и ультрафильтрации имеют место более сложные явления.

Для проведения процесса применяют непористые — динамические и диффузионные мембраны и пористые мембраны в виде тонких пленок, изготовленные из полимерных материалов. Наибольшее распространение получили полимерные мембраны из ацетатцеллюлозы.

Конструкция аппаратов для проведения процессов обратного осмоса и ультрафильтрации должна обеспечивать большую поверхность мембран в единице объема, простоту сборки и монтажа, механическую прочность и герметичность.

Схемы аппаратов для обратного осмоса показаны на рис. 21.

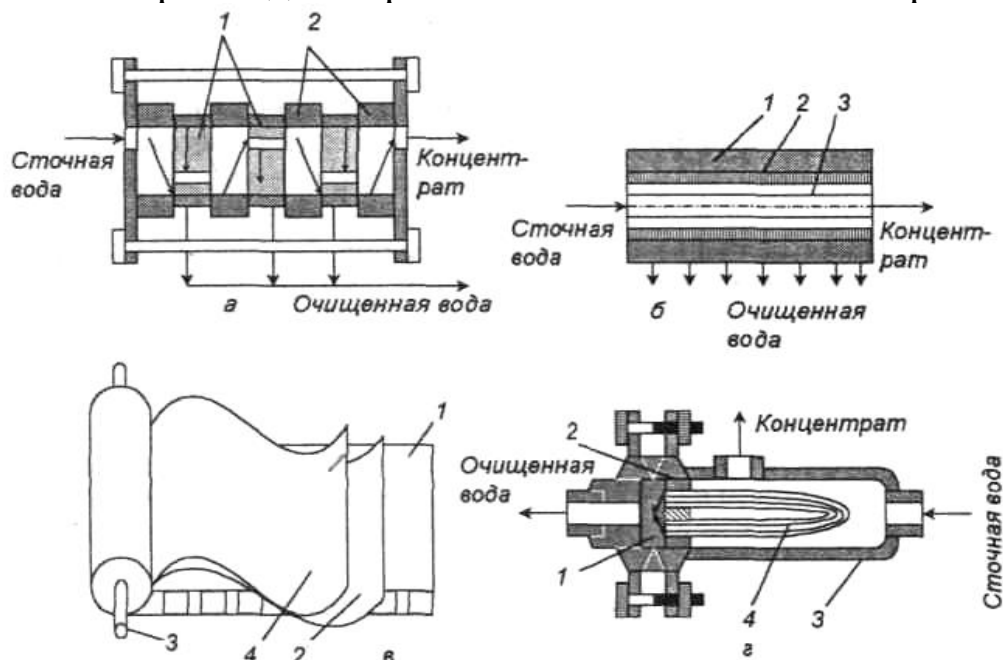


Рис. 21. Аппараты для обратного осмоса:

*а* — типа фильтр-пресс: 1 — пористые пластины, 2 — мембраны; *б* — трубчатый фильтрующий (элемент): 1 — трубка, 2 — подложка, 3 — мембрана; *в* — с рулонной укладкой полупроницаемых мембран: 1 — дренажный слой, 2 — мембрана, 3 — трубка для отвода очищенной воды, 4 — сетка-сепаратор; *г* — с мембранами в виде полых волокон: 1 — подложка, 2 — шайба с волокном, 3 — корпус, 4 — полые волокна

Установки обратного осмоса могут состоять из большого числа элементарных модулей, которые соединяют в батареи по параллельной схеме (рис. 22 а). В этом случае все модули работают в одинаковых условиях: при одном и том же давлении и коэффициенте выхода фильтрата. Такая схема пригодна для установок низкой производительности.

Для увеличения выхода фильтрата применяют схему последовательным соединением модулей (рис. 22, б).

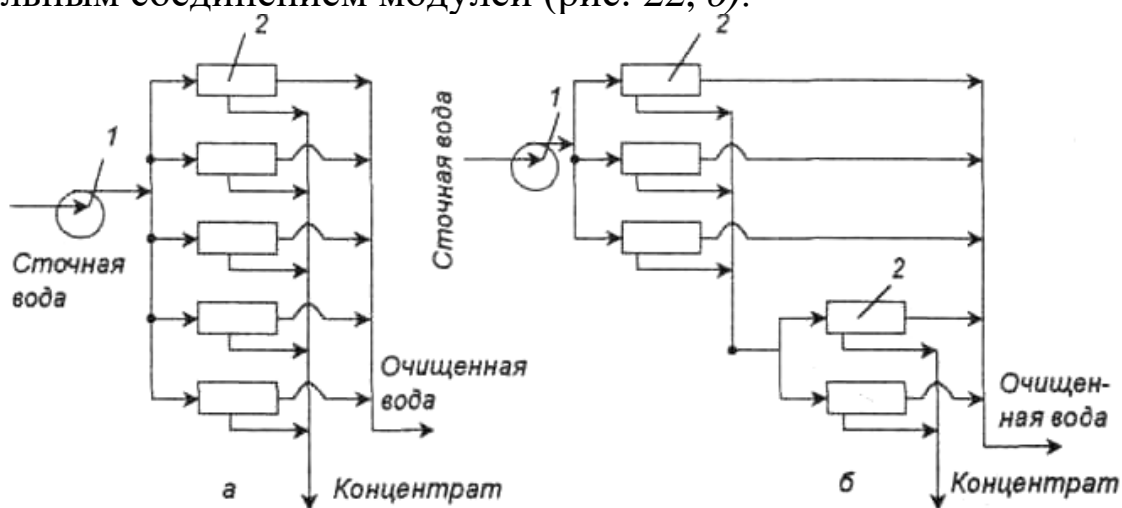


Рис. 22. Схемы соединения модулей:

а — параллельного; б — ступенчатого; 1 — насосы; 2 — модули

Используя обратный осмос и ультрафильтрацию, можно концентрировать и разделять растворенные совместно в сточной воде органические и неорганические вещества. Например, по одной из схем (рис. 23) в процессе ультрафильтрации получают концентрат, содержащий органические вещества, а в процессе обратного осмоса — концентрат неорганических веществ и чистую воду.

Схема ультрафильтрационной установки для разделения масло-эмульсионных сточных вод с концентрацией масел менее 10% показана на рис. 24.

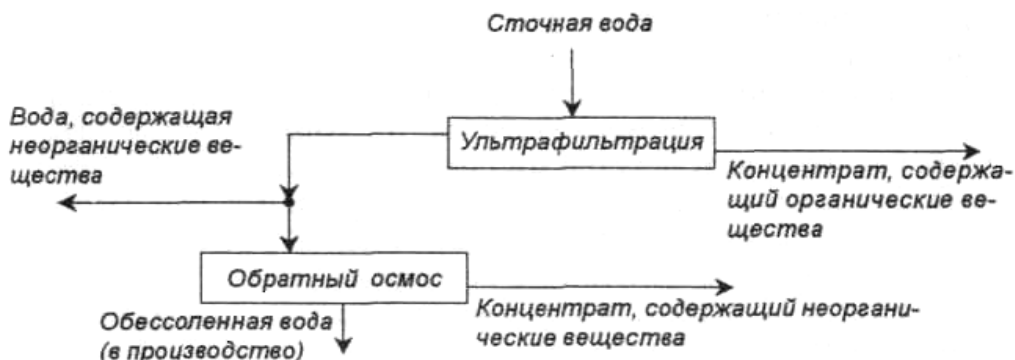


Рис. 23. Блок-схема установки разделения органических и неорганических веществ

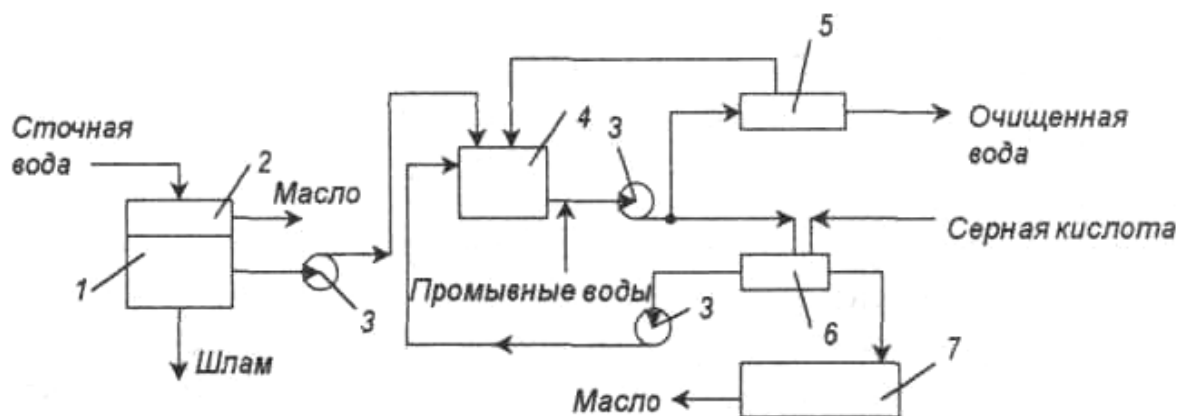


Рис. 24. Схема установки для разделения маслоэмульсионных сточных вод ультрафильтрацией:

1 — емкость; 2 — слой нерастворенных масел; 3 — насос; 4 — емкость; 5 — установка ультрафильтрации; 6 — бак для дополнительного отделения воды; 7 — емкость для масла

В баке при подогреве и добавлении серной кислоты происходит дополнительное разделение масел и воды. После этого воду возвращают в емкость, а масло используют в качестве топлива или направляют на рафинирование. Очищенная вода поступает на доочистку, а затем в производство.

## Глава 4. Химические методы очистки сточных вод

Химическим методы очистки сточных вод включают процессы нейтрализации, окисления и восстановления. Все эти процессы дороги в силу больших расходов реагентов. Поэтому стараются их применять для удаления растворимых веществ и в замкнутых системах водоснабжения. Химический метод очистки в основном выполняет роль предварительной перед биологической очисткой или после нее как метод доочистки сточных вод.

### 4.1. Нейтрализация

Сточные воды, содержащие минеральные кислоты или щелочи, перед сбросом их в водоемы или перед использованием в технологических процессах подвергают нейтрализации. Практически нейтральными считаются воды, имеющие  $pH = 6,5-8,5$ .

Нейтрализация стоков проводится разными путями: смешиванием кислых и щелочных сточных вод, добавлением реагентов, фильтрованием кислых вод через нейтрализующие материалы, абсорбцией кислых газов щелочными водами или абсорбцией аммиака кислыми водами. Выбор метода нейтрализации обусловлен объемами и концентрациями загрязняющих веществ в сточных водах, от режима их поступления, наличия и стоимости реагентов. Кроме того, при нейтрализации могут образовываться осадки, требующие дальнейшей переработки.

**Нейтрализация смешиванием.** Большая эффективность данного метода проявится, если смешивать кислые и щелочные воды разных предприятий, не загрязненные другими компонентами. Типовая схема приведена на рис. 25. Кислые и щелочные воды смешивают в емкости с мешалкой и без мешалки. В последнем случае перемешивание ведут воздухом при его скорости в линии подачи 20—40 м/с.

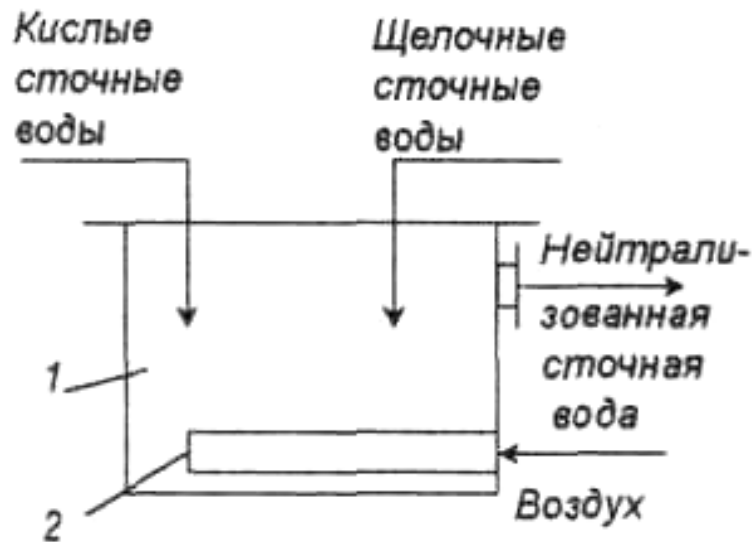


Рис. 25. Нейтрализатор смешения  
(1 — емкость; 2 — распределитель воздуха)

При избытке кислых или щелочных сточных вод добавляют соответствующие реагенты.

Принципиальная схема водно-реагентной нейтрализации приведена на рис. 26. Нейтрализованную воду используют в производстве, а осадок обезвоживают на шламовых площадках или вакуум-фильтрах.

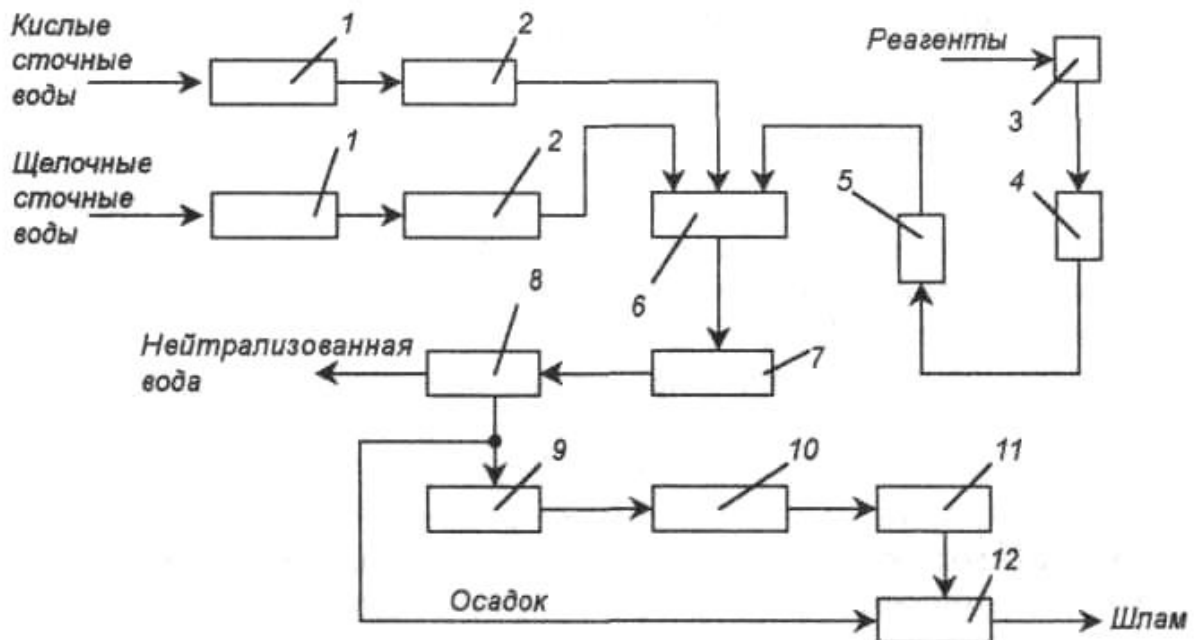


Рис. 26. Схема станции реагентной нейтрализации:

- 1 — песколовки; 2 — усреднители; 3 — склад реагентов; 4 — растворный бак; 5 — дозатор; 6 — смеситель; 7 — нейтрализатор; 8 — отстойник; 9 — осадкоуплотнитель; 10 — вакуум-фильтр; 11 — накопитель обезвоженных осадков; 12 — шламовая площадка

**Нейтрализация путем добавления реагентов.** Для нейтрализации кислых вод могут быть использованы: NaOH, KOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>OH (аммиачная вода), CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub>, доломит (CaCO<sub>3</sub>MgCO<sub>3</sub>), цемент.

**Нейтрализация фильтрованием кислых вод через нейтрализующие материалы.** В этом случае для нейтрализации кислых вод проводят фильтрование их через слой магнезита, доломита, известняка, твердых отходов (шлак, зола). Процесс ведут в фильтрах-нейтрализаторах, которые могут быть горизонтальными или вертикальными. **Нейтрализация кислыми газами.** Для нейтрализации щелочных сточных вод в последнее время начинают использовать отходящие газы, содержащие CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и др. Применение кислых газов позволяет не только нейтрализовать сточные воды, но и одновременно производить высокоэффективную очистку самих газов от вредных компонентов.

## Глава 5. Биохимические методы очистки сточных вод

### 5.1. Общие положения

Биохимический метод применяют для очистки хоз-бытовых и промышленных сточных вод от многих растворенных органических и некоторых неорганических (сероводорода, сульфидов, др.) веществ. В основе процесса биохимической очистки лежит способность микроорганизмов перерабатывать эти вещества для питания в процессе жизнедеятельности.

**Основные показатели сточной воды.** Сточные воды, поступающие на биохимическую очистку, характеризуются величинами БПК и ХПК. БПК — это биохимическая потребность в кислороде или количество кислорода, использованного при биохимических процессах окисления органических веществ (не включая процессы нитрификации) за определенный промежуток времени в мг  $O_2$  на 1 мг вещества. Например, БПК<sub>5</sub> — биохимическая потребность в кислороде за 5 сут, БПК<sub>полн</sub> — полная биохимическая потребность в кислороде до начала процессов нитрификации. ХПК — химическая потребность в кислороде, т.е. количество кислорода, эквивалентное количеству расходуемого окислителя, необходимого для окисления всех восстановителей, содержащихся в воде. ХПК также выражают в мг  $O_2$  на 1 мг вещества.

Взаимодействуя с органическими веществами в сточной воде, микроорганизмы частично разрушают их, превращая в воду, диоксид углерода, нитрит- и сульфат-ионы и др. Другая часть вещества идет на образование биомассы. Разрушение органических веществ называют биохимическим окислением. Некоторые органические вещества легко окисляются, а некоторые не окисляются совсем или очень трудно.

При очистке промышленных сточных вод на биохимические очистные сооружения предварительно устанавливают максимальные концентрации токсичных веществ, которые не влияют на процессы биохимического окисления (МК<sub>б</sub>) и на работу очистных сооружений (МК<sub>б.о.с.</sub>). При отсутствии таких данных возможность биохимического окисления устанавливают по отношению БПК<sub>полн</sub> и ХПК. При отношении  $(\text{БПК}/\text{ХПК}) * 100 = 50\%$  вещества поддаются биохимическому окислению. Во избежание гибели активного ила в сточных водах содержание тяжелых металлов и других токсичных веществ должно строго ограничиваться. Биохимические показатели для некоторых ор-



ганических веществ приведены в табл. 5.

Таблица 5

Биохимические показатели органических соединений  
(индекс у МКб.ос: А — азротенк, Б — биофильтр)

Название	Формула	ХПК, мг О <sub>2</sub> / мг в- ва	БПК.мг О <sub>2</sub> / мг в-ва	МК <sub>6</sub> , мг/л	МК <sub>6.ос</sub> , мг/л	<u>БПК<sub>п</sub></u> , % ХПК
Анилин	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub>	2,41	1,90	0,5	100 <sup>Б</sup> — 250 <sup>А</sup>	79
Бензойная кис- лота	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COOH	2	1,61	10	150 <sup>Б</sup>	80,5
Бензол	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	3,07	1,15	25	100 <sup>А</sup>	37,4
Бутанол	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	2,60	1,43	20	420 <sup>Б</sup> — 600 <sup>А</sup>	55
Диэтиламин	(CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> NH	2,95	1,31	10	50 <sup>Б</sup>	44,5
Метанол	CH <sub>3</sub> OH	1,5	0,86	20,3	200 <sup>Б</sup>	65,1
Нитробензол	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>2</sub>	1,91	0	10	—	—
Скипидар	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1,16	3	20	—	
Сахароза	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>	1,12	0,7	—	—	62,5
Толуол	CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	1,87	1,11	25	200 <sup>А</sup>	58,8
Фенол	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	2,38	1,1	0,3	1000 <sup>А</sup> —120 <sup>Б</sup>	46,2
Хлорбензол	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl	0,91	0,03	2	10 <sup>А</sup>	3,3
Этанол	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	2,08	1,82	—	—	87,5

Для неорганических веществ, которые практически не поддаются окислению, также определяются максимальные концентрации. Если такие концентрации превышены, воды нельзя подвергать биохимической очистке. Например, МК<sub>6</sub> в мг/л для: меди — 0,5; ртути — 0,02; свинца — 0,1; хлора — 0,3; бора — 0,05; сероводорода — 1; хлорида железа — 5.

Известны аэробные и анаэробные методы биохимической очистки сточных вод. Аэробный метод основан на использовании аэробных микроорганизмов, для жизнедеятельности которых необходим постоянный приток кислорода и температура 20-40°C. Если происходят изменения температуры и кислородного режима, состав и число

микроорганизмов меняются. При аэробной очистке микроорганизмы культивируются в активном иле или биопленке. Анаэробные же методы очистки протекают без доступа кислорода; их используют, главным образом, для обезвреживания осадков.

Состав активного ила и биопленки. Активный ил состоит из живых организмов и твердого субстрата. Живые организмы представлены скоплениями бактерий и одиночными бактериями, простейшими червями, плесневыми грибами, дрожжами, актиномицетами и др. Сообщество всех живых организмов, населяющих ил, называют биоценозом. Биоценоз активного ила в основном представлен двенадцатью видами микроорганизмов и простейших.

Активный ил представляет собой амфотерную коллоидную систему, при  $pH = 4-9$  имеющую отрицательный заряд. Несмотря на существенные различия сточных вод, элементный химический состав активных илов примерно одинаков.

Сухое вещество активного ила содержит 70—90% органических и 10—30% неорганических веществ. Субстрат, которого в активном иле может быть до 40%, представляет собой твердую отмершую часть остатков водорослей и различных твердых остатков. К нему прикрепляются организмы активного ила.

В активном иле находятся организмы различных групп. Возникновение таких групп зависит от множества факторов: состава сточных вод, содержания в них кислорода, температуры, реакции среды, содержания солей, окислительно-восстановительного потенциала и др. По экологическим группам микроорганизмы делятся на *аэробы* и *анаэробы*, *термофилы* и *мезофилы*, *галофилы* и *галофобы*. При очистке промышленных сточных вод преобладают аэробные микробы.

Коловратки — микроскопические организмы длиной 0,01-2,5 мм — существуют только при наличии в сточной воде кислорода. Они питаются бактериями и простейшими.

При образовании активного ила сначала появляются бактерии, затем простейшие. Бактерии в процессе жизнедеятельности выделяют вещества, стимулирующие размножение простейших. Они обладают склеивающей способностью, поэтому активный ил представляет собой буровато-желтые комочки и хлопья, размером 3—150 мкм.

Качество ила определяется скоростью его осаждения и степенью очистки жидкости. Крупные хлопья оседают быстрее, чем мелкие. Состояние ила характеризует иловый индекс, который представляет собой отношение объема осаждаемой части активного ила к массе

высушенного осадка (в граммах) после отстаивания в течение 30 минут. Чем хуже оседает ил, тем более высокий иловый индекс он имеет.

**Биохимический показатель.** Биохимической активностью микроорганизмов называют биохимическую деятельность, связанную с разрушением органических загрязнений сточных вод. Биоразлагаемость сточных вод характеризуется через биохимический показатель, под которым понимают соотношение  $BPK_{полн}/ХПК$ .

Биохимический показатель является параметром, необходимым для расчета и эксплуатации промышленных сооружений для биохимической очистки сточных вод. Его значения колеблются в широких пределах для различных групп сточных вод. Промышленные сточные воды обычно имеют низкий биохимический показатель (0,05-0,3); бытовые сточные воды — свыше 0,5.

## 5.2. Очистка в природных условиях

Аэробные процессы биохимической очистки могут протекать в природных условиях и в искусственных сооружениях. В естественных условиях очистка происходит на полях орошения, полях фильтрации и биологических прудах. Искусственными сооружениями являются аэротенки и биофильтры разной конструкции. Тип сооружений выбирают с учетом местоположения завода, климатических условий, источника водоснабжения, объема промышленных и бытовых сточных вод, состава и концентрации загрязнений. В искусственных сооружениях процессы протекают с большей скоростью, чем в естественных условиях.

**Поля орошения.** Это специально подготовленные земельные участки, используемые одновременно для очищения сточных вод и агрокультурных целей. Очистка сточных вод в этих условиях идет под действием почвенной микрофлоры, солнца, воздуха и под влиянием жизнедеятельности растений.

Если на полях не выращиваются сельскохозяйственные культуры и они предназначены только для биологической очистки сточных вод, то они называются *полями фильтрации*. Земледельческие поля орошения после биологической очистки сточных вод, увлажнения и удобрения используют для выращивания зерновых и силосных культур, трав, овощей, а также для посадки деревьев и кустарников.

Земледельческие поля орошения имеют следующие преимущества перед аэротенками: 1) снижаются капитальные и эксплуатационные затраты; 2) исключается сброс стоков за пределы

орошаемой площади; 3) обеспечивается получение высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных растений; 4) вовлекаются в сельскохозяйственный оборот малопродуктивные земли.

В процессе биологической очистки сточные воды проходят через фильтрующий слой почвы, в котором задерживаются взвешенные и коллоидные частицы, образуя в порах грунта микробную пленку. Затем образовавшаяся пленка адсорбирует коллоидные частицы и растворенные в сточных водах вещества. Проникающий из воздуха в поры кислород окисляет органические вещества, превращая их в минеральные соединения.

**Биологические пруды.** Представляют собой каскад прудов, состоящий из 3-5 ступеней, через которые с небольшой скоростью протекает осветленная, или биологически очищенная сточная вода. Пруды предназначены для биологической очистки и доочистки сточных вод в комплексе с другими очистными сооружениями. Различают пруды с естественной или искусственной аэрацией. Пруды с естественной аэрацией имеют небольшую глубину (0,5-1 м), хорошогреваются солнцем и заселены водными организмами.

Температура должна быть не менее 6°C. В зимнее время пруды не работают.

### 5.3. Очистка в искусственных сооружениях

В искусственных условиях очистку проводят в аэротенках или биофильтрах.

**Очистка в аэротенках.** Аэротенками называют железобетонные аэрируемые резервуары. Процесс очистки в аэротенке идет по мере протекания через него аэрированной смеси сточной воды и активного ила (рис. 27). Аэрация необходима для насыщения воды кислородом и поддержания ила во взвешенном состоянии.

Сточную воду направляют в отстойник, куда для улучшения осаждения взвешенных частиц можно подавать часть избыточного ила. Затем осветленная вода поступает в предаэратор-усреднитель, в который направляют часть избыточного ила из вторичного отстойника. Здесь сточные воды предварительно аэрируются воздухом в течение 15-20 мин. В случае необходимости в предаэратор могут быть введены нейтрализующие добавки и питательные вещества. Из усреднителя сточную воду подают в аэротенку, через которую циркулирует и активный ил.

Биохимические процессы, протекающие в аэротенке, могут быть

разделены на два этапа: 1) адсорбция поверхностью активного ила органических веществ и минерализация легко окисляющихся веществ при интенсивном потреблении кислорода;

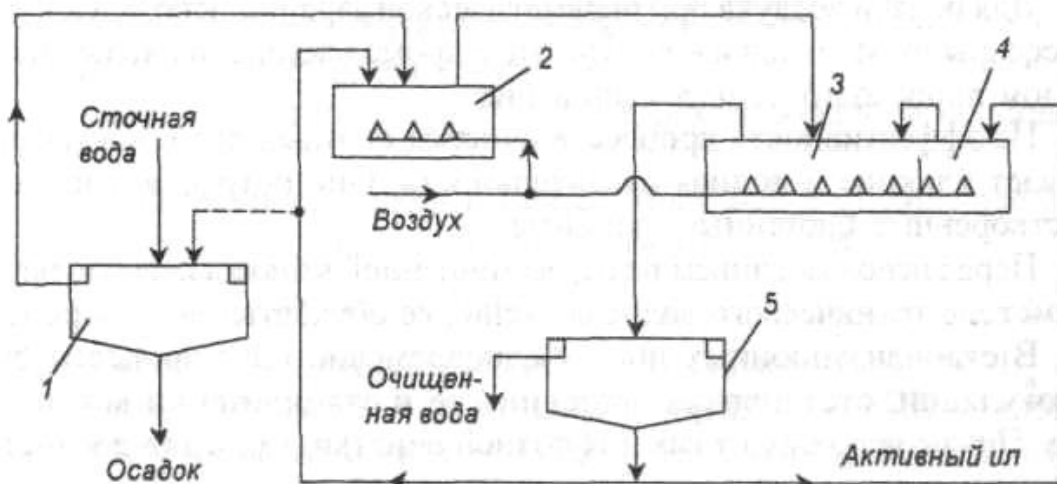


Рис. 27. Схема установки для биологической очистки:

1 — первичный отстойник; 2 — предаэратор; 3 — аэротенк; 4 — регенератор; 5 — вторичный отстойник

2) доокисление медленно окисляющихся органических веществ, регенерация активного ила. На этом этапе кислород потребляется медленнее.

Как правило, аэротенк разделен на две части: регенератор (25% от общего объема) и собственно аэротенк, в котором идет основной процесс очистки. Наличие регенератора дает возможность очищать более концентрированные сточные воды и увеличить производительность агрегата.

Перед аэротенком сточная жидкость должна содержать не более 150 мг/л взвешенных частиц и не более 25 мг/л нефтепродуктов. Температура очищаемых вод не должна быть ниже 6°C и выше 30°C, а рН — в пределах 6,5-9.

После контактирования сточная вода с илом поступает во вторичный отстойник, где происходит отделение ила от воды. Большую часть ила возвращают в аэротенк, а его избыток направляют в предаэратор.

Аэротенк представляет собой открытый бассейн, оборудованный устройствами для принудительной аэрации. Они бывают двух-, трех- и четырехкоридорные. Глубина аэротенков 2-5 метров.

Аэротенки подразделяются по следующим основным признакам: 1) по гидродинамическому режиму — на аэротенки-вытеснители, аэротенки-смесители и аэротенки промежуточного типа (с рассредоточенным вводом сточных вод); 2) по способу регенерации активного

ила — на аэротенки с отдельной регенерацией и аэротенки без отдельной регенерации; 3) по нагрузке на активный ил — на высоконагружаемые (для неполной очистки), обычные и низконагружаемые (с продленной аэрацией); 4) по количеству ступеней — на одно-, двух- и многоступенчатые; 5) по режиму ввода сточных вод — на проточные, полупроточные, с переменным рабочим уровнем и контактные; 6) по конструктивным признакам.

Наиболее распространены коридорные аэротенки, работающие как вытеснители, смесители и с комбинированными режимами.

Схемы аэротенков с различной структурой потоков сточной воды и возвратного активного ила показаны на рис. 28.

В аэротенках-вытеснителях воду и ил подают в начало сооружения, а смесь отводят в конце его. Аэротенк имеет 1—4 коридора. Теоретически режим потока поршневой, без продольного перемешивания. На практике существует значительное продольное перемешивание. Повышенная концентрация загрязнений в начале сооружения обеспечивает увеличение скорости окисления. Изменение состава воды по длине аэротенка затрудняет адаптацию ила и снижает его активность. Такие аэротенки применяют для окисления малоконцентрированных вод (до 300 мг/л по БПК<sub>полн</sub>).

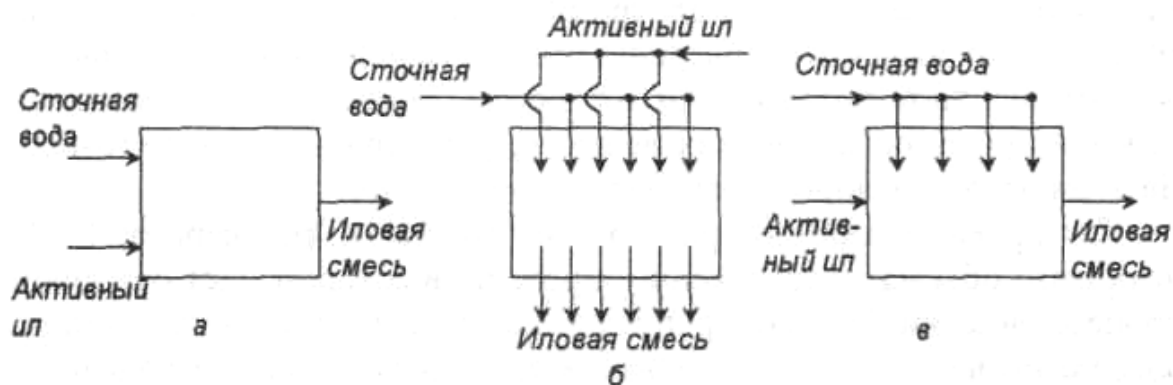


Рис. 28. Аэротенки с различной структурой потоков сточной воды и возвратного активного ила:

а — аэротенк-вытеснитель; б — аэротенк-смеситель; в — аэротенк с рассредоточенной подачей сточной воды

В аэротенках-смесителях воду и ил вводят равномерно вдоль длинных сторон коридора аэротенка. Полное смешение в них сточной воды с иловой смесью обеспечивает выравнивание концентраций ила и скоростей процесса биохимического окисления. Такие аэротенки предназначены для очистки концентрированных производственных сточных вод (БПК<sub>полн</sub> до 1000 мг/л) при разных колебаниях их распа-

да, состава и количества загрязнений.

В аэротенки с *рассредоточенной подачей воды* ее подают в нескольких точках по длине аэротенка, а отводят из торцевой части. Возвратный ил подают в начало аэротенка. Эти аппараты занимают промежуточное положение между вытеснительными и смесительными.

Основные технологические схемы очистки сточных вод в аэротенках представлены на рис. 29.

Одноступенчатые схемы без регенерации ила применяют при  $BPK_{полн}$  сточной воды не более 150 мг/л, с регенерацией — более 150 мг/л и при наличии вредных производственных примесей. Двухступенчатые схемы применяют при очистке высоконцентрированных сточных вод.

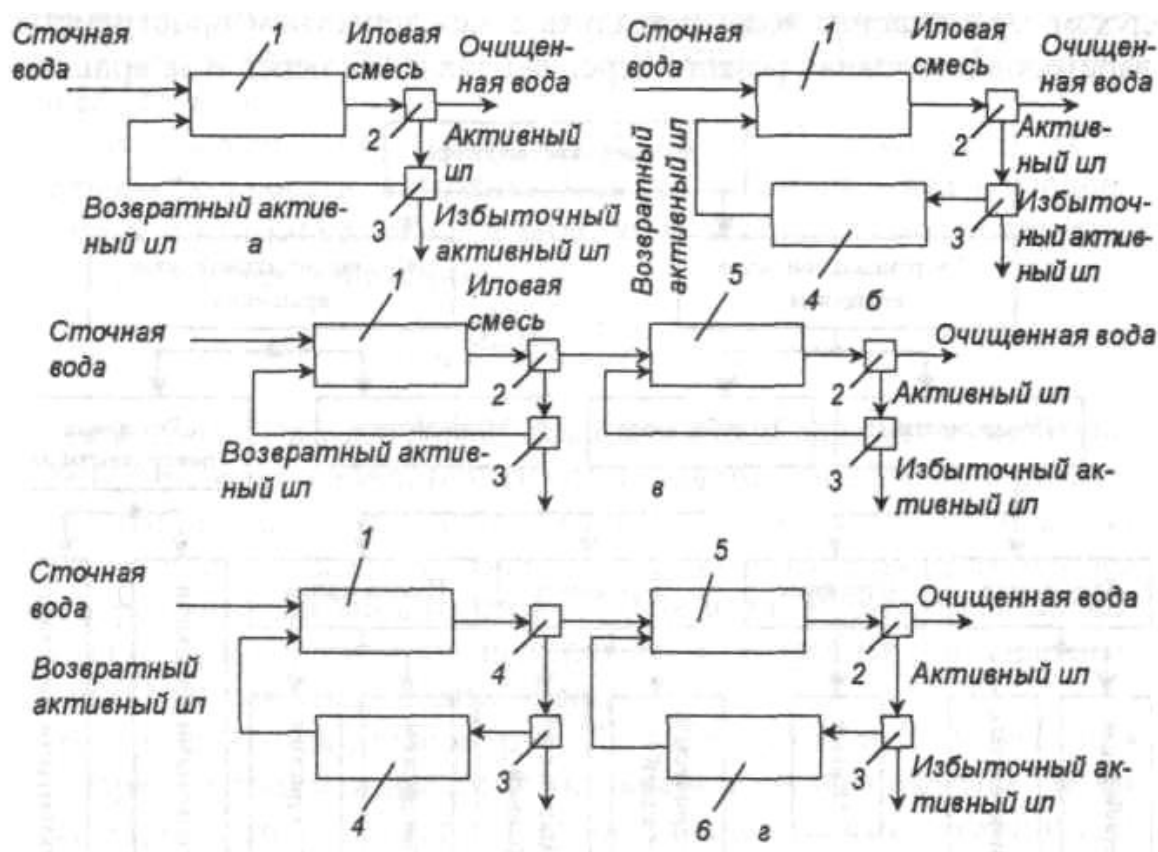


Рис. 29. Основные схемы установок очистки сточных вод в аэротенках: а — с одноступенчатыми аэротенками без регенерации; б — то же, с регенерацией; в — с двухступенчатыми аэротенками без регенерации; г — то же, с регенерацией: 1 — аэротенки; 2 — отстойники; 3 — насосные станции для ила; 4 — регенераторы I ступени; 5 — аэротенки II ступени; 6 — регенератор II ступени

*Аэротенки.* На рис. 30 а, показана схема аэротенка-отстойника,

объединенного со вторичным отстойником. Зона аэрации отделена от зоны отстаивания. Сточную воду подают в центре, а отводят по лотку. В зоне отстаивания образуется слой взвешенного активного ила, через который фильтруется сточная вода. Избыточный активный ил отводят из зоны взвешенного слоя по трубам, а возвратный активный ил поступает в зону аэрации.

В аэротенке-осветлителе (рис. 30 б) сточная вода поступает в зону аэрации, где смешивается с активным илом и аэрируется. Затем смесь через окна попадает в зону осветления и зону дегазации. В зоне осветления возникает взвешенный слой активного ила, через который фильтруется иловая смесь. Очищенная вода через лотки удаляется из аэротенка.

Двухкамерные аэротенки-отстойники (рис 30 в) являются разновидностью аэротенков-осветлителей. В них зона аэрации разделена вертикальной перфорированной перегородкой на две камеры. В первой камере происходит насыщение иловой смеси кислородом и сорбция загрязнений активным илом, во второй — окисление сорбированных загрязнений и стабилизация активного ила. Избыточный ил удаляется из зоны осветления.

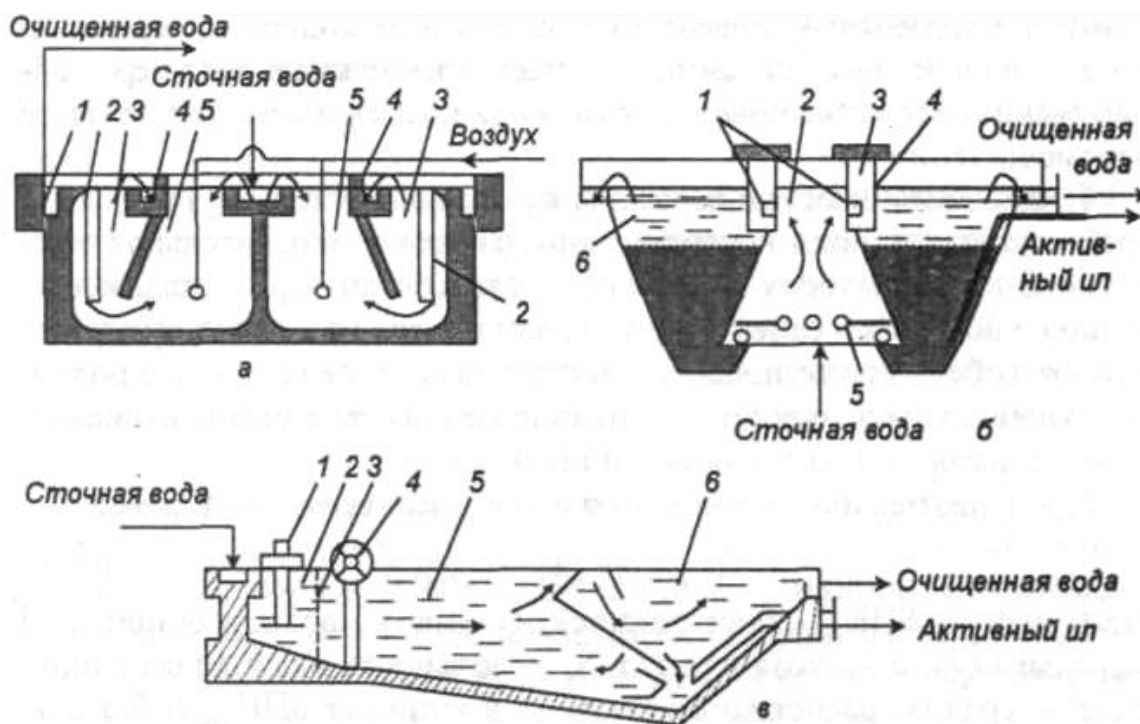


Рис. 30. Аэротенки: а— аэротенк-отстойник:

1 — лоток, 2 — илососы, 3 — зона отстаивания, 4 — водосливы, 5 — зона аэрации; б — аэротенк-осветлитель: 1 — переливные окна, 2 — зона аэрации, 3 — зона дегазации, 4 — направляющая перегородка, 5 — аэратор, 6 — зона осветления; в — двухкамерный аэротенк-отстойник: 1 — импеллерный аэратор, 2 — зона предварительного обогащения, 3 — перегородка, 4 — роторный аэратор, 5 — зона ферментации, 6 — зона осветления



Изучен процесс биохимической очистки с отделением активного ила от очищенной воды не во вторичных отстойниках, а во флотаторах. Схема процесса показана на рис. 31.

Использование флотатора позволило повысить концентрацию активного ила в аэротенке до 10-12 г/л и увеличить его производительность в 2-3 раза. Процесс применим для очистки сточных вод с высокой концентрацией загрязнений.

Очистка в биофильтрах. Биофильтры — это сооружения, в корпусе которых размещается кусковая насадка (загрузка) и предусмотрены распределительные устройства для сточной воды. В биофильтрах сточная вода фильтруется через слой загрузки, покрытый пленкой из микроорганизмов.

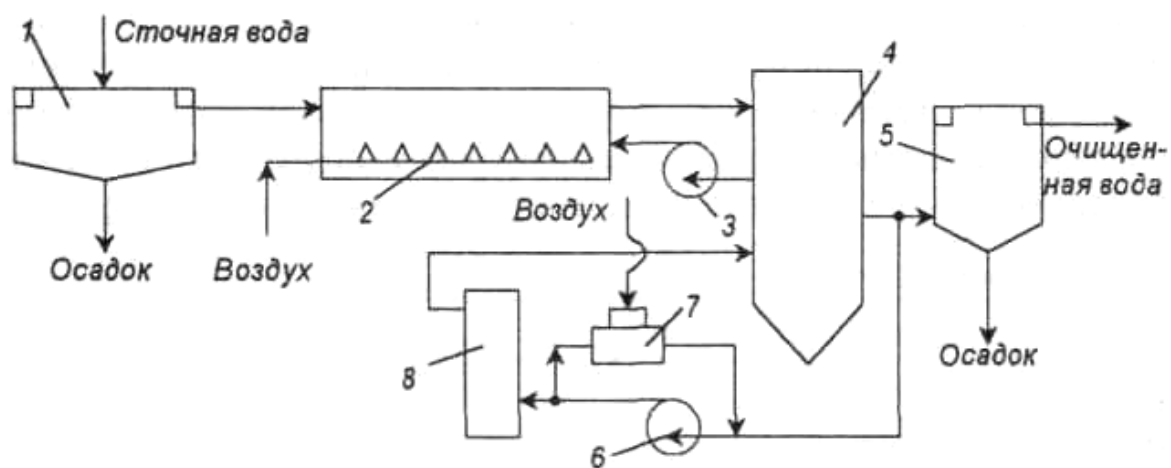


Рис. 31. Схема установки для биохимической очистки с флотационным илоуплотнителем:

1 — отстойник; 2 — аэротенк; 3,6 — насосы; 4 — флотатор; 5 — контактный резервуар; 7 — эжектор; 8 — напорный бак

В качестве загрузки используют различные материалы с высокой пористостью, малой плотностью и высокой удельной поверхностью: щебень, гравий, шлак, керамзит, керамические и пластмассовые кольца, кубы, шары, цилиндры, шестигранные блоки, металлические и пластмассовые сетки, скрученные в рулоны.

### Совместная очистка бытовых и промышленных сточных вод.

Процесс очистки протекает более устойчиво и полно, когда ведут совместную очистку производственных и бытовых сточных вод, поскольку бытовые воды содержат биогенные элементы, а также разбавляют производственные сточные воды (рис. 32). Необходимую степень разбавления определяют по соотношению:

$$m = (L_a - L_{cm}) / (L_{cm} - L_{быт}),$$

где  $L_a$  — начальная БПК<sub>полн</sub> производственной сточной воды, мг/л;  $L_{см}$  — начальная БПК<sub>полн</sub> смеси, мг/л;  $L_{быт}$  — начальная БПК<sub>полн</sub> бытовых вод,  $L_{быт}=40\ 000q$  (здесь  $q$  — среднесуточное количество бытовых вод на одного человека).

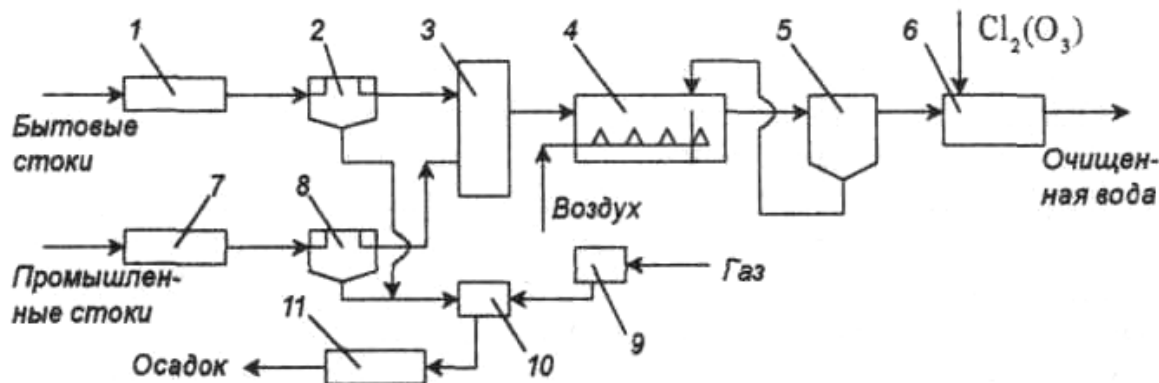


Рис. 32. Схема установки для совместной очистки бытовых и промышленных сточных вод:

1,7— усреднители; 2, 8 — первичные отстойники; 3 — смеситель; 4 — аэротенк; 5 — вторичный отстойник; 6 — емкость для обезвреживания; 9 — котельная; 10 — метантенк; 11 — аппарат для обезвреживания осадка

Бытовые сточные воды поступают в усреднитель, а затем в отстойник. После осветления воду направляют в смеситель, где смешивают с производственной сточной водой, поступающей из отстойника. Далее смесь бытовых и промышленных вод поступает в аэротенк. После отделения активного ила во вторичном отстойнике, сточные воды обезвреживают хлором, затем сбрасывают в водоем или направляют для использования в производстве.

Осадок из отстойников поступает в метантенки. Выделяемый в процессе сбраживания газ из метантенков направляют на сжигание в котельню. Сброженный осадок обезвреживают и перерабатывают в удобрение.

#### 5.4. Анаэробные методы биохимической очистки

Анаэробные методы обезвреживания используют для сбраживания осадков, образующихся при биохимической очистке производственных сточных вод, а также как первую ступень очистки очень концентрированных промышленных сточных вод (БПК<sub>полн</sub> ≈ 4-5 г/л), содержащих органические вещества, которые разрушаются анаэробными бактериями в процессах брожения. В зависимости от конечного вида продукта различают следующие виды брожения: спиртовое, пропионовокислотное, молочнокислотное, метановое и др. Конечными продуктами брожения являются спирты, кислоты, ацетон, газы брожения

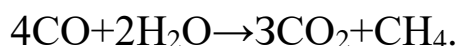
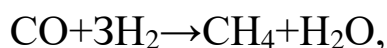
(CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>).

Для очистки сточных вод используют метановое брожение. Этот процесс очень сложный и многостадийный. Механизм его окончательно не установлен. Считают, что процесс метанового брожения состоит из двух фаз: кислой и щелочной (или метановой). В кислой фазе из сложных органических веществ образуются низшие жирные кислоты, спирты, аминокислоты, аммиак, глицерин, ацетон, сероводород, диоксид углерода и водород. Из этих промежуточных продуктов в щелочной фазе образуются метан и диоксид углерода. Предполагается, что скорости превращений веществ в кислой и щелочной фазах одинаковы.

Основная реакция метанообразования может быть записана уравнением (H<sub>2</sub>A — органическое вещество, содержащее водород):



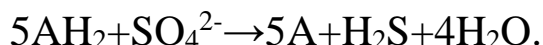
Возможны и другие реакции (в присутствии и при отсутствии водорода):



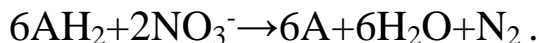
Метан может образовываться в результате распада уксусной кислоты:



При очистке сульфатсодержащих промышленных стоков процесс протекает при участии сульфатвосстанавливающих бактерий:



При денитрификации в анаэробных условиях:



При определенных условиях конечным продуктом может быть и аммиак.

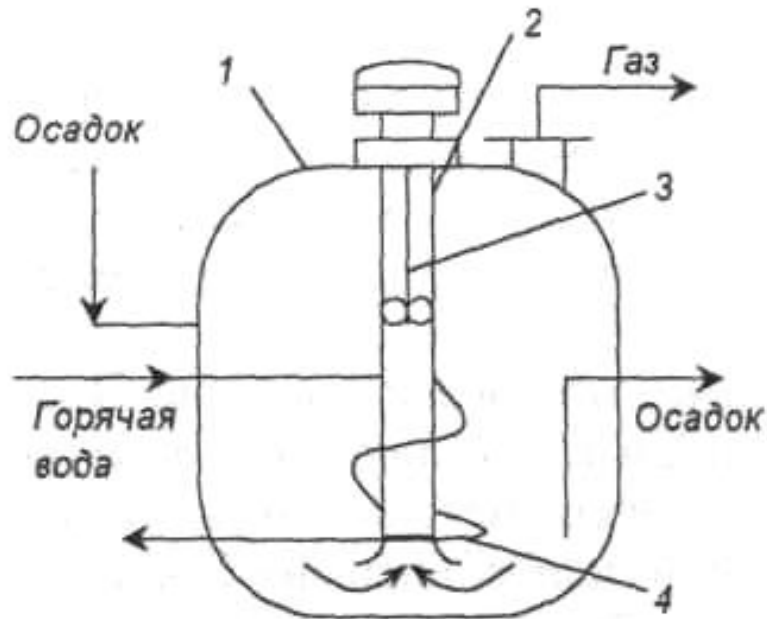


Рис. 33. Метантенк:  
1 — корпус; 2 — труба; 3 — мешалка; 4 — змеевик

Процесс брожения проводят в метантенках — герметически закрытых резервуарах, оборудованных приспособлениями для ввода несброженного и вывода сброженного осадка. Схема метантенка показана на рис 33. Перед подачей в метантенк осадок должен быть по возможности обезвожен. Основными параметрами аэробного сбраживания являются температура, регулирующая интенсивность процесса, доза загрузки осадка и степень его перемешивания. Процессы сбраживания ведутся в мезофильных (30-35°C) и термофильных (50-55°C) условиях. Полного сбраживания органических веществ в метантенках достичь нельзя. Все вещества имеют свой предел сбраживания, зависящий от их химической природы. В среднем степень распада органических веществ составляет около 40%.

Для достижения высокой степени анаэробного сбраживания необходимо соблюдать по возможности высокую температуру процесса, концентрацию беззольного вещества более 15 г/л, интенсивную степень перемешивания, рН среды 6,8-7,2. Снижает эффективность сбраживания присутствие катионов тяжелых металлов (меди, никеля, цинка), избыток ионов  $\text{NH}_4^+$ , сульфидов, некоторых органических соединений и в том числе детергентов.

## Практическая часть

### Лабораторная работа № 1.

#### Определение физических свойств и органолептических показателей воды.

*Цель работы:*

1. Научиться оценивать физические свойства воды.
2. Освоить методики органолептического определения показателей качества воды.

Одним из основных физических свойств воды является температура. Органолептические показатели - запах, вкус.

**Температура.** Температура природных вод является результатом нескольких совместно протекающих в водном объекте процессов, таких, как солнечная радиация, теплообмен с атмосферой, перенос тепла течениями, испарение и т.д.

Температура природных вод также зависит от их происхождения. Воды подземных источников отличаются постоянством температуры. Сезонные колебания температуры становятся менее резкими с увеличением глубины залегания подземных вод. Температура же вод открытых водоемов значительно изменяется в течение года и по часам суток.

Обычно прогревание поверхностных вод происходит сверху вниз. Годовой и суточный ход температуры воды на поверхности и глубинах определяется количеством тепла, поступающего на поверхность, а также интенсивностью и глубиной перемешивания. Суточные колебания температуры могут составлять несколько градусов и обычно проникают на небольшую глубину.

Зимой температура воды близка к 4 °С, так как при этой температуре вода обладает наибольшей плотностью. Постепенное нагревание воды происходит, начиная с весеннего таяния льда. При достижении водой температуры на поверхности водоема 4 °С, она становится наиболее плотной и опускается вниз.

Температура воды - важнейший фактор, влияющий на происходящие в водоеме физические, химические, биохимические и биологические процессы, от которого в значительной мере зависят кислородный режим и интенсивность процессов самоочищения. Например, при увеличении температуры на 10°С скорость биохимических процессов увеличивается в 2-3 раза. Но в отличие от химических процессов биологические требуют очень медленного изменения температу-

ры с тем, чтобы живые организмы могли адаптироваться к такому изменению. Резкие изменения температуры могут вызвать гибель полезных микроорганизмов. Значения температуры используют для вычисления степени насыщения воды кислородом, щелочности, состояния карбонатно-кальциевой системы, при многих гидрохимических, гидробиологических, тепловых загрязнениях.

**Органолептические показатели.** Органолептические наблюдения - это метод определения состояния водного объекта путем непосредственного его осмотра. При органолептическом обследовании водоема определяют и его органолептические свойства.

Органолептические свойства воды - это такие свойства, которые определяются с помощью органов чувств: зрения, вкуса, обоняния. К ним относятся: запах, вкус, цветность и мутность воды.

Органолептические свойства воды определяются по стандартным методикам, приводимым в ГОСТе 3351-74. Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности.

Органолептические показатели воды включают нормативы для веществ:

- встречающихся в природных водах;
- добавляемых к воде в процессе обработки в виде реагентов;
- появляющихся в результате промышленного, сельскохозяйственного и бытового загрязнений источников водоснабжения.

**Запах.** Запах - это свойство воды вызывать у человека и животных специфическое раздражение слизистой оболочки носовых ходов.

Природная вода имеет целый спектр ароматов (например, озерная или речная пахнет свежестью, морская - йодом, рыбой). Запах воды вызывают летучие пахнущие вещества, поступающие в воду в результате процессов жизнедеятельности водных организмов, при биохимическом разложении органических соединений и т.д. Запахи природных вод могут быть естественного и искусственного происхождения. К запахам естественного происхождения относят землистый, рыбный, гнилостный, сероводородный, болотный, глинистый, тинистый и др., искусственного происхождения - хлорный, камфарный, аптечный, фенольный, запах нефтепродуктов.

На запах воды оказывают влияние химический состав примесей, температура, рН, степень загрязненности водного объекта, биологическая обстановка, гидрологические, геологические условия местности, тип питания водоема и другие причины. По запаху воды можно определить возможный источник происхождения запаха (табл.6,7).

Таблица 6

## Возможные источники происхождения запаха в водных объектах

Сокращение	Классификация запаха	Примеры или возможный источник происхождения запаха
<i>A</i>	Ароматный или пряный	Камфара, гвоздика, лаванда, лимон
<i>Ae</i>	Огуречный	Senura
<i>B</i>	Бальзамический или цветочный	Герань, ирис, ваниль
<i>Bg</i>	Гераниевый	Asterionella
<i>Bm</i>	Настурциевый	Aphanizomenon
	Сладковатый	Coelosphaerium
	Фиалковый	Mallomonas
<i>C</i>	Химический	Промышленные сточные воды или химическая обработка вод
<i>Co</i>	Хлорный	Свободный хлор
<i>Ch</i>	Углеводородный	Стоки предприятий нефтеперерабатывающей промышленности
<i>Cm</i>	Лекарственный	Фенолы и йодоформ
<i>D</i>	Неприятный (тухлых яиц)	Сероводород
<i>Df</i>	Рыбный	Uroglenopsis dinobryum
<i>Dp</i>	Навозный	Anabaena
<i>Dj</i>	Гнилостный	Застоявшиеся сточные воды
<i>E</i>	Землистый	Сырая земля
<i>G</i>	Торфяной	Торф
	Травянистый	Лежалая трава
<i>M</i>	Затхлый	Преющая солома
<i>Mm</i>	Плесневый	Сырой подвал
<i>V</i>	Овощной	Корни овощей

## Характер запаха различных водорослей

Водоросли	Запах
Диатомовые (астерионелла, стефанодикус, мелозира, цик-лотелла и др.)	Ароматичный (фиалковый, гераниевый, землистый, рыбный)
Зеленые (энтероморфа, сцене-десмус и др.)	Травянистый, болотный, рыбный
Сине-зеленые (анабены, мик-роцистис, афанизоменон, нос-ток, осциллятория и др.)	Травянистый, гнилостный, болотный, навозный

При проведении анализа природной воды на наличие запаха сначала устанавливают характер запаха естественного происхождения, а затем искусственного. Проведение работы по определению запаха требует соблюдения следующих условий:

- а) воздух в помещении должен быть без запаха;
- б) отсутствие запаха от рук, одежды наблюдателя;
- в) одному и тому же лицу нельзя проводить определение запаха в течение длительного времени, так как появляется привычка к запаху.

Интенсивность и характер запаха определяют по 5-балльной шкале.

**Вкус.** Вода имеет вкус. Его букет формируется в результате деятельности многих организмов и при наличии минеральных примесей. Различают четыре основных вкуса воды: соленый, горький, сладкий и кислый. Все другие виды вкусовых ощущений называются *привкусами*.

Соленый вкус воды обусловлен присутствием хлорида натрия, горький - сульфата магния, кислый - часто объясняется избытком растворенной углекислоты (минеральные воды), железистый привкус - придают растворенные соли железа, щелочной - поташ, сода, едкие щелочи, вяжущий - сульфат кальция, соли марганца.

В табл. 8 приведены концентрации солей, вызывающих различные вкусовые ощущения. Предел вкусовых ощущений человека весьма высок (например, хлорфенол обнаруживается на вкус при концентрации 0,000004 мг/л).



Интенсивность и характер вкусов воды определяют по 5-балльной системе.

Таблица 8

Сравнительная таблица предельной концентрации солей, вызывающих вкусовые ощущения

Соль	Концентрация, мг/л	
	вкус (без ясного представления) едва ощутимый	вкус воспринимается как плохой, отталкивающий
NaCl	150	500 - соленый
MgCl <sub>2</sub>	100	400 - горький
MgSO <sub>4</sub>	200	500 - горький
CaSO <sub>4</sub>	70	150-вяжущий
KCl	350	700 - горький
FeSO <sub>4</sub>	1,5	5,0 - железистый
MnCl <sub>2</sub>	2,0	4,0 - болотный
FeCl <sub>2</sub>	0,3	0,5 - болотный

#### *Приборы и оборудование*

- 1 Термометр.
- 2 Колбы стеклянные с притертыми пробками.
- 3 Стекло часовое.
- 4 Баня водяная.

#### **Порядок выполнения работы**

**Определение температуры воды.** Для определения температуры воды отбирают пробу воды из водоема или непосредственно в водоеме. Помещают термометр в исследуемую воду и выдерживают его в воде не менее 5 мин. Показания термометра записать в журнал.

**Определение запаха.** При определении характера запаха воды устанавливают его ощущаемый воспринимаемый запах, который может быть землистым, хлорным или другим.).

Определение запаха воды проводят при температурах 20 °С и 60 °С.

Определение запаха при 20 °С. Налить в колбу 100 мл исследуемой воды с температурой 20 °С. Закрывать колбу пробкой. Перемешать воду в колбе вращательными движениями, после чего колбу открыть и определить характер и интенсивность запаха.

*Определение запаха при 60 °С.* 100 мл воды нагреть до 60 °С, затем содержимое колбы повторно несколько раз перемешать вращательными движениями и, открыв пробку, быстро определить характер и интенсивность запаха.

Оценить интенсивность запаха воды при 20 °С и 60 °С по 5-балльной шкале (табл. 9).

Таблица 9

Шкала оценки интенсивности запаха воды

Интенсивность запаха	Характер проявления запаха	Оценка, балл
Нет	Запах не ощущается	0
Очень слабая	Запах не ощущается, но обнаруживается при лабораторном исследовании	1
Слабая	Запах заметен, если обратить на это внимание	2
Заметная	Запах легко заметен и вызывает неодобрительный отзыв о воде	3
Отчетливая	Запах обращает на себя внимание и заставляет воздержаться от питья	4
Очень сильная	Запах настолько сильный, что делает воду непригодной к употреблению	5

Внимание! Пробу сырой воды на вкус производить только при уверенности в ее безвредности! В сомнительных случаях, когда можно ожидать наличия в природной воде болезнетворных микроорганизмов, воду следует предварительно прокипятить в течение 5 мин, затем охладить до 20 °С и потом уже пробовать на вкус.

**Порядок выполнения работы**

Исследуемую воду набрать в рот малыми порциями (5-10 мл.), не проглатывая, и задержать в течение 3 - 5 с. Интенсивность вкуса и привкуса определить при 20 °С и оценить по 5-балльной системе (табл. 10).

## Шкала оценки интенсивности вкуса и привкуса воды

Интенсивность вкуса и привкуса	Характер проявления вкуса и привкуса	Оценка, балл
Нет	Не ощущаются	0
Очень слабая	Не ощущаются, но обнаруживаются при лабораторном исследовании	1
Слабая	Заметны, если обратить на них внимание	2
Заметная	Легко заметны и вызывают неодобрительный отзыв о воде	3
Отчетливая	Обращают на себя внимание и заставляют воздержаться от питья	4
Очень сильная	Настолько сильные, что делают водунепригодной для употребления	5

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

№ пробы		Температура, °С	
Определение запаха			
№ пробы	Температура, °С	Характер запаха	Интенсивность запаха
Определение вкуса			
№ пробы	Характер вкуса		Интенсивность вкуса

*Отчет должен содержать:*

- 1 Порядок выполнения работы.
- 2 Результаты исследований.
- 3 Выводы о качестве воды (запах, вкус).

## **Лабораторная работа № 2.**

### **Изучение процесса отстаивания.**

*Цель работы:* Определение скорости осаждения сферической частицы в жидкости.

В суспензиях и газовзвесьях дисперсная фаза имеет обычно большую плотность, чем сплошная, поэтому движущая сила гравитационного осаждения (естественного отстаивания) равна  $p_{\text{т}} - p_{\text{ж}}$ . Процесс осаждения осуществляется в аппаратах периодического, полунепрерывного и непрерывного действия, называемых отстойниками.

Отстойник периодического действия (рис.34а) представляет собой вертикальный сосуд круглого или прямоугольного сечения с конусным дном.

Отстойник полунепрерывного действия для суспензий (рис. 34б) представляет собою длинный желоб прямоугольного сечения с торцевыми стенками разной высоты, причем передняя (справа) несколько ниже и служит порогом водослива. На рис. 34в показана схема отстойника полунепрерывного действия для газовзвесей. Отстойник разделен системой горизонтальных перегородок на ряд параллельно работающих камер. Отстойник непрерывного действия с гребками, схематически изображенный на рис. 34г., состоит из цилиндрического сосуда с конусным дном, по оси которого расположен медленно вращающийся вал, несущий на нижнем конце лопасти с насаженными на них лопатками (гребками). Суспензия непрерывно поступает в центральную часть аппарата, сгущенный осадок с помощью гребков отводится через нижний штуцер, а осветленная жидкость удаляется сверху через кольцевой желоб. Для большей компактности рассматриваемый аппарат (его диаметр достигает 120 м) часто изготавливается многоярусным.

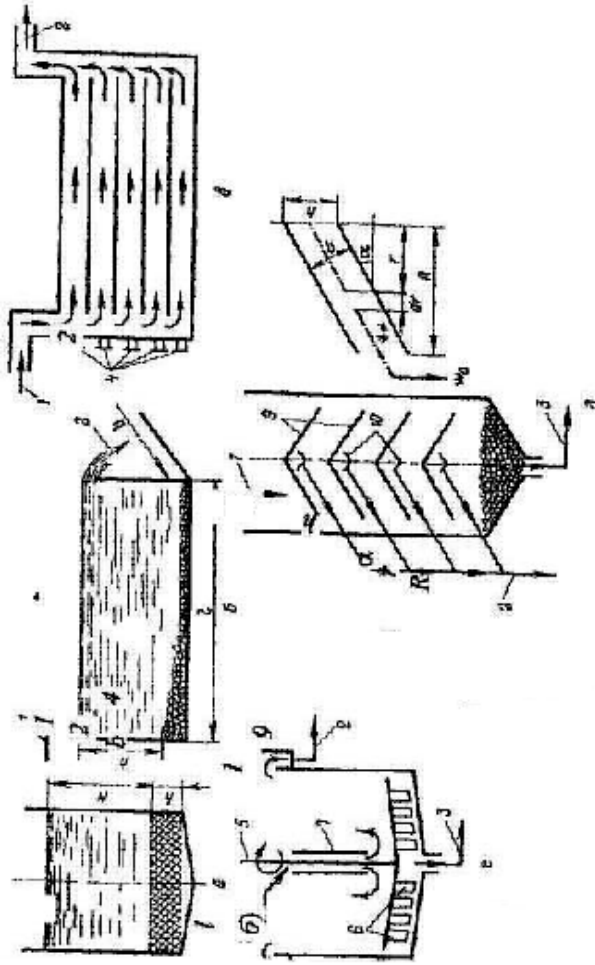


Рис. 34 Схемы отстойников:

*a* - отстойник периодического действия; *б, в* - отстойники полунепрерывного действия соответственно для суспензий и газовзвесей; *г, д* — отстойники непрерывного действия соответственно с гребками и коническими перегородками; 1 — суспензия; 2 — осветленная жидкость; 3 — осадок; 4 — люки для выгрузки пыли; 5 - вал; *б* - гребки; 7 - труба для входа суспензии; 8 - кольцевой желоб; 9 — конические перегородки; 10 — воронки

На рис. 34д показана схема цилиндрического отстойника непрерывного действия с коническими перегородками, расположенными в центральной его части. Суспензия, поступающая по периферии, проходит через пространства между конусами. Осветленная жидкость отводится через воронки, размещенные в верхней части конусов, а осадок сползает с поверхности конусов и удаляется через нижний центральный штуцер.

Основной характеристикой рассматриваемого процесса разделения суспензий и газовзвесей является скорость осаждения, т.е. скорость относительного движения твердых частиц.

Осаждение происходит по законам падения тел в среде, оказывающей сопротивление их движению. Оседающая частица движется

вначале ускоренно, но через некоторый промежуток времени, когда сопротивление трения уравновесит действие силы тяжести, она приобретает постоянную скорость и падает равномерно.

Процесс отстаивания описывается критериальным уравнением:

$$Re = B(Ar)^n$$

где  $B$  и  $n$  - являются опытными величинами и зависят от режима осаждения твердой частицы.

Определение скорости осаждения шарообразных одиночных частиц в неподвижной неорганической среде по обобщенному методу, пригодному при любом режиме осаждения, производят следующим образом:

1. Определение критерия Архимеда ( $Ar$ ):

$$Ar = \frac{d^3(\rho_T - \rho_{ж})\rho_{ж}g}{\mu_{ж}^2},$$

где  $d$  - диаметр частицы, м;  $\rho_T$  - плотность частицы, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{ж}$  - плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $\mu_{ж}$  - динамический коэффициент вязкости жидкости, Н·с/м<sup>2</sup>;  $g$  — ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>.

2. По найденному значению критерия Архимеда определяют критерии  $Re$ , далее режим осаждения:

Для каждого режима движения найдена из опыта зависимость вида (1).

Для практических расчетов принимают следующие формулы:

$$Re = \frac{Ar}{18};$$

а) ламинарный режим

$$Ar < 33,$$

$$Re < 1,85,$$

б) переходный режим

$$33 < Ar < 83 \cdot 10^3,$$

$$1,85 < Re < 500,$$

$$Re = 0,152 (Ar)^{0,715};$$

в) турбулентный режим  
 $Ar > 83 \cdot 10^3$ ,  $Re > 500$ ,  
 $Re = 1,74(Ar)^{0,5}$ ;

3. Вычисляют скорость осаждения частиц:

$$u_0 = \frac{Re \mu_{ж}}{\rho_T d}$$

### Приборы и оборудование

- 1 Шары различных размеров и плотностей.
- 2 Стекланный цилиндр с жидкостью.
- 3 Секундомер.
- 4 Линейка.

Для опыта используется стекланный мерный цилиндр, в который налита исследуемая жидкость. На цилиндре имеются две метки М1 и М2. Метка М1 помещена на несколько сантиметров ниже уровня жидкости, чтобы к тому моменту, когда шарик проходит мимо нее, его движение уже было установившимся. Цилиндр закрыт пробкой с воронкой, в которую опускается шарик, двигающийся в дальнейшем примерно по оси цилиндра так, чтобы на его движение не влияли стенки.

Время  $t$  прохождения шарика от одной метки до другой измеряется секундомером. Расстояние  $l$  между метками М1 и М2 измеряется линейкой. Таким образом, скорость шарика без труда может быть вычислена:  $v = l/t$

### Порядок выполнения работы

- 1 Изучить порядок проведения работы.
- 2 Поочередно опуская дисперсные частицы шарообразной формы различных размеров и плотности в цилиндр с жидкостью, на мерном участке секундомером замерить время их осаждения.
- 3 Рассчитать скорость осаждения шариков:
  - а) исходя из пройденной длины пути и замеренного времени.
  - б) аналитическим путем по приведенным формулам.
- 4 Сравнить экспериментальные и расчетные результаты.

## Результаты исследований

№	Параметры частицы		Параметры жидкости		Время осаждения, с	Критерии		Скорость осаждения	
	$d$ , м	$\rho_T$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho_{ж}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\mu$ , Н·с/м <sup>2</sup>		$Ar$	$Re$	по данным эксперимента	расчетная

*Отчет должен содержать:*

- 1 Порядок выполнения работы.
- 2 Схему опыта.
- 3 Результаты исследования и сравнения значений скорости осаждения, определенных расчетом и экспериментально.
- 4 Выводы.

### Лабораторная работа № 3.

#### Выделение твердой фазы из раствора кристаллизацией.

**Цель работы:** Качественное ознакомление с процессом.

Для выделения веществ из концентрированных сточных вод используют метод кристаллизации.

Обычно применяется кристаллизация с охлаждением растворов, так как растворимость большинства солей уменьшается с понижением температуры.

Выделение кристаллов происходит только из пересыщенных растворов. Пресыщение раствора характеризуют разностью между концентрациями пересыщенного  $c_{п}$  насыщенного  $c^*$  растворов, относительным пересыщением  $(c_{п}-c^*)/c^*$  или коэффициентом пересыщения  $c_{п}/c^*$ .

Образование кристаллов состоит из двух последовательных стадий:

- 1) возникновение в пересыщенном растворе центров кристаллиза-



ции - зародышей кристаллов;

2) рост кристаллов на базе этих зародышей.

Для кристаллизации растворов с охлаждением на практике обычно используют кристаллизаторы с воздушным или водяным охлаждением.

Например, резервуары с мешалками снабжены для охлаждения рубашками, змеевиками, трубчатыми холодильниками. Охлаждение в них производят водой, жидким аммиаком, холодильным рассолом. Недостаток аппаратов - сильная инкрустация кристаллами охлаждающих поверхностей. При охлаждении воздухом через барботеры инкрустация уменьшается и необходимость перемешивания раствора мешалками исключается.

Шнековые кристаллизаторы представляют собой желоб с закругленным днищем длиной 12... 25 м и шириной 0,5...0,7 м, устанавливаемый с небольшим наклоном. Раствор охлаждают водой через рубашку. Осевшие кристаллы перемещают шнеком.

Барабанные вращающиеся кристаллизаторы с водяным или воздушным охлаждением имеют длину до 20 м и диаметр до 1,5 м. Скорость вращения до 0,30 об/мин. Кристаллы образуются на внутренней поверхности вращающегося барабана и снимаются с нее цепью. Охлаждение водой идет через рубашку. При охлаждении воздухом его подают внутрь барабана, где он движется противотоком к раствору.

#### ***Оборудование и материалы:***

1 Емкость для приготовления перемешенного раствора поваренной соли в воде.

2 Электроплитка.

3 Воронка с фильтровальной перегородкой.

4 Вода, поваренная соль.

#### **Порядок выполнения работы**

1 С помощью электроплитки нагреть воду до кипения.

2 Добавляя в кипящую воду поваренную соль, приготовить пересыщенный раствор (пока соль не перестанет растворяться).

3 Охладить емкость с раствором в проточной водопроводной воде. Наблюдать образование кристаллов.

4 С помощью воронки с фильтровальной перегородкой отделить кристаллы поваренной соли от раствора.

**Отчет должен содержать:**

- 1 Схему опыта.
- 2 Последовательность выполнения работы.
- 3 Выводы.

#### **Лабораторная работа № 4.**

##### **Выделение из раствора твердой фазы выпариванием.**

**Цель работы:** Определение массовой доли твердой фазы в растворе.

На химических предприятиях образуются сточные воды, содержащие различные минеральные соли (кальция, магния, натрия и др.), а также органические вещества. Такие воды могут быть обезврежены термическими методами:

- 1) концентрированием сточных вод с последующим выделением растворенных веществ;
- 2) окислением органических веществ в присутствии катализатора при атмосферном и повышенном давлении;
- 3) жидкофазным окислением органических веществ;
- 4) огневым обезвреживанием.

Метод концентрирования в основном используют для обезвреживания минеральных сточных вод.

Он позволяет выделять из стоков соли с получением условно чистой воды, пригодной для оборотного водоснабжения.

Процесс разделения минеральных веществ и воды может быть проведен в две стадии: стадия концентрирования и стадия выделения сухих веществ. Во многих случаях вторая стадия заменяется захоронением концентрированных растворов. Концентрированные сточные воды можно непосредственно направлять на выделение сухого продукта, например в распылительную сушилку.

В промышленности наиболее распространены выпарные установки концентрирования растворов. Для этой цели используют одноступенчатые и многоступенчатые выпарные установки с выпарными аппаратами различной конструкции.

Выпаривание является энергоемким процессом. Энергия, затрачиваемая на выпаривание, складывается из энергии на нагрев сточной воды от начальной температуры до температуры испарения: на деформирование и перенос центров парообразования; на работу, затрачиваемую на разделение растворителя и раствора; на формирование

поверхности паровых пузырей при испарении; на преодоление сил давления при формировании пузырей; на преодоление пузырем границы раздела фаз и на транспортирование паровых пузырей до границы раздела фаз.

Для определения концентрации твердой фазы в растворе достаточно полностью испарить жидкость в отобранной пробе.

Массовую долю твердой фазы в растворе  $x$  можно рассчитать по следующей зависимости

$$x = \frac{m_T}{m_p},$$

где  $m_T$  — масса твердой фазы в растворе;  $m_p$  — масса раствора.

**Оборудование и материалы:**

- 1 Емкость для приготовления раствора.
- 2 Емкость для выпаривания раствора.
- 3 Электроплитка.
- 4 Весы лабораторные.
- 5 Вода, поваренная соль.

**Порядок выполнения работы**

- 1 Приготовить раствор поваренной соли в воде, используя количества, заданные преподавателем.
- 2 Взвесить емкость для выпаривания раствора -  $m'$ .
- 3 Отобрать пробу, поместить ее в емкость для выпаривания.
- 4 Взвесить емкость для выпаривания с пробой раствора —  $m''$ .
- 5 Выпарить с помощью электроплитки раствор до полного испарения жидкости.
- 6 Взвесить емкость для выпаривания с твердой фазой -  $m'''$ .

Таблица 12

Результаты исследования

№ пробы	$m'$ , г	$m''$ , г	$m'''$ , г

Обработка опытных данных

- 1 Определить массу раствора в пробе  $m_p = m'' - m'$ .
- 2 Определить массу твердой фазы в пробе  $m_T = m''' - m'$ .

3 Определить массовую долю твердой фазы в растворе

$$x = \frac{m_{\text{т}}}{m_{\text{р}}}.$$

**Отчет должен содержать:**

- 1 Схему опыта.
- 2 Порядок выполнения работы.
- 3 Выводы.

### **Лабораторная работа № 5.**

#### **Обезвоживание осадков сточных вод в осадительной центрифуге**

**Цель работы:**

1. Изучение устройства и принципа работы осадительных центрифуг.
2. Исследование влияния режимных параметров (числа оборотов ротора, продолжительности процесса осаждения) на степень разделения суспензий.

Процессы центрифугирования широко используется для удаления осадков из сточных вод.

Под центрифугированием понимают разделение жидких неоднородных систем (суспензий, эмульсий) под действием центробежных сил. Процессы центрифугирования осуществляются в аппаратах, называемых центрифугами.

Центрифугирование производится двумя методами: центробежное осаждение и центробежное фильтрование.

Центробежным осаждением называется процесс выделения твердой фазы из суспензий, осуществляемый в осветляющих и осадительных центрифугах периодического и непрерывного действия.

В практических условиях осадительное центрифугирование может осуществляться одним из трех способов: а) с непрерывным подводом суспензии и непрерывным отводом фугата и осадка; б) с длительным отводом фугата без удаления осадка во время процесса; в) центрифугированием определенного объема суспензии, который не пополняется, а фугат и осадок во время процесса не отводятся.

Непрерывный процесс разделения осуществляется на центрифугах типа ОГШ и других. На центрифугах периодического действия (типа ОГН, ОМД, ОРТ) разделение производится по второму и треть-

ему способу.

При центробежном осаждении твердая дисперсная фаза осаждается на внутренней поверхности сплошного ротора центрифуги. Этот процесс делится на собственно центробежное осаждение и центробежное осветление, при этом используются объемные силы дисперсной среды в центрифугах со сплошными роторами. В первом случае происходит осаждение частиц твердой фазы из высококонцентрированных суспензий в обычных промышленных центрифугах, во втором - выделение мелкодисперсных твердых частиц из малоцентрированных суспензий с образованием осадка и фугата - жидкости, удаленной в слив в процессе центробежного осаждения (в высокоскоростных шнековых центрифугах, сепараторах, трубчатых центрифугах).

В отличие от центробежного фильтрования при центробежном осаждении над сформированным осадком обычно имеется свободная жидкость, поэтому осадок сохраняет высокую влажность.

Центробежное осаждение состоит из трех последовательных процессов: осаждения твердых частиц, уплотнения осадка, частичного удаления остаточной влаги.

Рабочим органом центрифуги является ротор (барабан), закрепленный на вертикальном или горизонтальном вращающемся валу. Ротор обычно состоит из кольцевой крышки, цилиндрической или конической обечайки и днища. Во внутреннюю полость ротора подается суспензия (эмульсия), частицы твердого материала (тяжелая фаза) под действием центробежных сил скапливаются у стенки ротора, а жидкость (легкая фаза) располагается ближе к оси жидкостного цилиндра, соосного вращающемуся ротору; в дальнейшем из ротора удаляются обе фазы.

Фактор разделения - безразмерная величина, определяющая эффективность центрифуги - позволяет сопоставить основные показатели различных центрифуг. С физической точки зрения фактор разделения определяет отношение ускорения поля центробежных сил, создаваемого центрифугой, к ускорению свободного падения.

$$F_r = \frac{w^2 r}{g},$$

где  $w$  - угловая скорость потока, рад/с;  $r$  — радиус потока, м;

Чем больше фактор разделения, тем значительнее воздействие

центробежных сил на твердый материал и выше возможность его осаждения.

### Описание конструкции пробирочной центрифуги

Центрифуга (рис. 35) имеет ротор 1, жестко скрепленный с валом 2. Вал с помощью муфты 3 соединяется с электродвигателем постоянного тока 4. На роторе подвижно закреплены стаканчики 5, в которые устанавливаются пробирки 6 с веществом, которое необходимо разделить. При вращении ротора центрифуги стаканчики 5 отклоняются от горизонтального положения, при этом происходит осаждение твердых частиц суспензии под действием центробежной силы. Ротор со стаканчиками размещается в корпусе 7, который крепится на станине 8. Центрифуга имеет кожух 9 с крышкой 10. В станине размещается встроенное реле времени 11 и потенциометр 12, с помощью которого можно устанавливать необходимое число оборотов ротора. Для снижения вибраций станина машина устанавливается на амортизаторах 13.

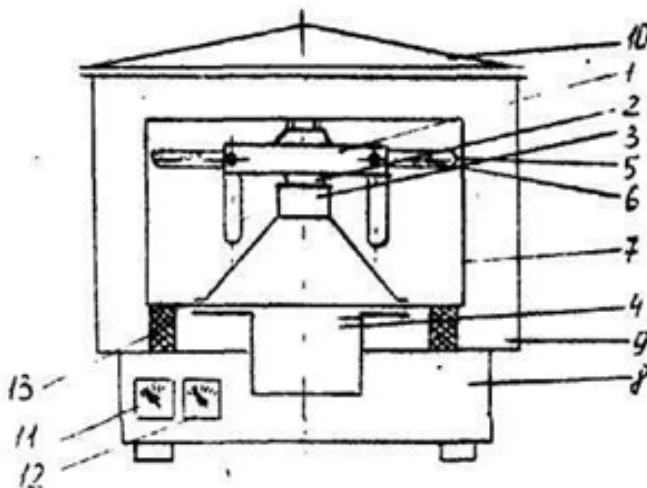


Рис. 35. Схема пробирочной центрифуги

1 – ротор; 2 – вал; 3 – муфта; 4 – электродвигатель постоянного тока; 5 – стаканчики; 6 – пробирки; 7 – корпус; 8 – станина; 9 – кожух; 10 – крышка; 11 – реле времени; 12 – потенциометр; 13 – амортизаторы.

### Порядок выполнения работы

- 1 Приготовить водную суспензию с содержанием твердой фазы мела - 20 %:
- 2 Пронумеровать пробирки.
- 3 Наполнить пробирки суспензией.
- 4 Установить пробирки в стаканчики 5 ротора центрифуги.
- 5 Установить потенциометром частоту вращения 1000 об/мин.

6 С помощью реле времени 11 установить время центрифугирования 1 мин.

7 Включить центрифугу.

8 После окончания процесса центрифугирования извлечь пробирки из стаканчиков ротора центрифуги, замерить высоту слоя фугата, результаты занести в табл. 13.

Таблица 13

Экспериментальные и расчетные данные

Число оборотов, об/мин	№ пробирки	Время центрифугирования $\tau$ , мин	Высота слоя фугата $h_f$ , м	Объемы			Фактор разделения $F_r$
				суспензии $V_c$ , м	фугата $V_f$ , м	осадка $V_{oc}$ , м	
1000	i	1					
		2					
1500	10						
2000	.	10					
3000	.	1					
	.						
	1						
	.						
	.						
	10						
	1						
	10						

9. Повторить измерения для оборотов ротора центрифуги 2000 об/мин, 3000 об/мин и продолжительности процесса 1... 10 мин.

### Обработка результатов

1. Определить объем влажного осадка

$$V_{\text{ос}} = V_{\text{с}} - V_{\text{ф}}; \quad V_{\text{ф}} = h_1 \frac{\pi d^2}{4},$$

где  $d$  - диаметр пробирки, м.

2. Рассчитать фактор разделения

$$F_r = \frac{w^2 R}{g},$$

где  $R$  - наружный радиус слоя осадка, м;  $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

3. Определить степень уплотнения осадка,

$$\Delta = \frac{V_{\text{ос}} - V'_{\text{ос}}}{V_{\text{ос}}},$$

где  $V_{\text{ос}}$  - первоначальный объем осадка, м<sup>3</sup>;  $V'_{\text{ос}}$  - объем осадка в данный момент времени.

4. Построить зависимость изменения объема влажного осадка от времени центрифугирования  $V_{\text{ос}} f(\tau)$  при различных числах оборотов ротора.

5. Построить зависимость степени уплотнения осадка от фактора разделения  $\Delta = f(F_r)$ .

6. Сделать выводы по работе.

**Отчет должен содержать:**

1 Краткое описание и схему устройства лабораторной центрифуги.

2 Экспериментальные и расчетные величины, сведенные в таблицу.

3 Графики зависимости изменения объема осадка от времени центрифугирования при различных скоростях вращения ротора.

4 Графики зависимостей степени уплотнения осадка от фактора разделения.

5 Выводы по работе.



## Библиографический список

1. Арбузов В.В. Экологические основы охраны гидросферы: Учебное пособие. – Пенза:
2. Биологическая очистка. Аэротенки: Учебное пособие / Исаева А.М., Николаева С.Н., Малютина Т.В., Хазов С.Н. – Пенза: ПГУАС, 2004.
3. Ветошкин А.Г. Процессы инженерной защиты окружающей среды (теоретические основы): Учеб. пособие. - Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005.
4. Ветошкин А.Г. Технология защиты окружающей среды (теоретические основы): Учебное пособие / Ветошкин А.Г., Таранцева К.Р. – Пенза: Изд-во ПТИ, 2003.
5. Ильичев В.Ю., Гринин А.С. Основы проектирования экобио-защитных систем: Учеб. пособие для вузов. /Под ред. А.С.Гринина. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002.
6. Кривошеин Д.А. Инженерная защита поверхностных вод от промышленных стоков: Учеб. пос. / Д.А.Кривошеин, П.П.Кукин, В.Л.Лапин. – М.: Высшая школа, 2003.
7. Инженерная экология. /Под ред. В.Т.Медведева. – М.: Гардарики, 2002.
8. Ксенофонтов Б.С. Флотационная очистка сточных вод. – М.: Новые технологии., 2003.
9. Мацнев А.И. Очистка сточных вод флотацией. – Киев: Будивельник, 1976.
10. Оборудование, сооружения, основы проектирования химико-технологических процессов защиты биосферы от промышленных выбросов / А.И.Родионов, Ю.П.Кузнецов, В.В.Зенков, Г.С.Соловьев. – М.: Химия, 1985.
11. Охрана окружающей среды / Под ред. С.В.Белова. - М.: Высшая школа, 1991.
12. Очистка производственных сточных вод / Под ред. С.В.Яковлева. – М.: Стройиздат, 1985.
13. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. - Л.: Химия, 1981.
14. Плановский А.Н. Процессы и аппараты химической технологии / Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. - М.: Химия, 1967.
15. Процессы и аппараты химической технологии. Явления переноса, макрокинетика, подобие, моделирование, проектирование. В 5

т. Т.2. Механические и гидромеханические процессы / Под ред. А.М. Кутепова. – М.: Логос, 2001.

16. Родионов А.И. Технологические процессы экологической безопасности (Основы энвайронменталистики) / Родионов А.И., Клушин В.Н., Систер В.Г. - Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2000.

17. Родионов А.И. Техника защиты окружающей среды / Родионов А.И., Клушин В.Н., Торочешников Н.С. – М.: Химия, 1989.

18. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986.

19. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. В 3-х т. Т.2. - Калуга: Изд-во Н.Бочкаревой, 2003.

20. Тимонин А.С. Основы расчета и конструирования химико-технологического и природоохранного оборудования: Справочник: В 3 т. Т.2. - Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2002.

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре  
Набережночелнинского института  
Казанского (Приволжского) федерального университета

Подписано в печать 17.05. 2018г.  
Формат 60x84/16. Печать ризографическая.  
Бумага офсетная. Гарнитура «Times New Roman».  
Усл. п. л. 5,6. Уч.-изд. л. 5,6.  
Тираж 50 экз. Заказ № 1038.

---

423810, г. Набережные Челны, Новый город, проспект Мира, 68/19  
тел./факс (8552) 39-65-99 e-mail: ic-nchi-kpfu@mail.ru