

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ЛЕСА»

С. М. Тарасов

**ОЧИСТКА И РЕКУРРАЦИЯ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ**

**ОЧИСТКА ВОДЫ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ  
ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА**

*Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом  
университета в качестве учебно-методического пособия для студентов  
направления подготовки 18.03.01, 18.04.01 "Химическая технология"  
профиля "Химическая технология переработки древесины"*

Москва

Издательство Московского государственного университета леса  
2016

УДК 661.71  
Т 35

Рецензент: профессор кафедры химии и биотехнологии А.Н. Иванкин

Работа подготовлена на кафедре химии

**Тарасов, С. М.**

Т35 Очистка и рекуперация промышленных выбросов. Очистка воды на предприятиях лесопромышленного комплекса: учеб.-методич. пособие / С. М. Тарасов. – М.: ФГБОУ ВО МГУЛ, 2016. – 60 с.

В пособии рассматриваются основные источники загрязнений на предприятиях лесопромышленного комплекса, влияние загрязнений на окружающую среду, способы предотвращения их появления, снижения их количества и токсичности, основные способы очистки воды, используемые реагенты, очистное оборудование.

УДК 661.71

*Учебное издание*

**Тарасов Сергей Михайлович**

## **ОЧИСТКА И РЕКУПЕРАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ**

### **ОЧИСТКА ВОДЫ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА**

*Под редакцией автора*

*Компьютерный набор и верстка автора*

По тематическому плану внутривузовских изданий учебной литературы на 2016 г.

Подписано в печать 06.2016. Формат 60×90 1/16. Бумага 80 г/м<sup>2</sup>

Гарнитура «Таймс». Ризография. Усл. печ. л. 3,63.

Тираж 100 экз. Заказ №

Издательство Московского государственного университета леса. 141005,  
Мытищи-5, Московская обл., 1-я Институтская, 1, МГУЛ.

E-mail: [izdat@mgul.ac.ru](mailto:izdat@mgul.ac.ru)

По вопросам приобретения литературы издательства ГОУ ВПО МГУЛ  
обращаться в отдел реализации.

Телефон: 8 (498) 687-41-33, E-mail: [kurilkina@mgul.ac.ru](mailto:kurilkina@mgul.ac.ru)

© С. М. Тарасов, 2016  
© ГОУ ВПО МГУЛ, 2016

## **Предисловие**

Данное учебно-методическое пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению направления подготовки 18.03.01, 18.04.01 "Химическая технология" профиля "Химическая технология переработки древесины", а также инженерно-технических работников предприятий лесопромышленного комплекса, особенно для тех, чья деятельность связана непосредственно с очисткой промышленных вод.

В пособии рассматриваются основные источники загрязнений на предприятиях лесопромышленного комплекса, влияние загрязнений на окружающую среду, способы предотвращения их появления, снижения их количества и токсичности, основные способы очистки воды, используемые реагенты, очистное оборудование. Всё это необходимо знать будущим специалистам по химической переработке древесины, поскольку ни одно из производств лесопромышленного комплекса (ЛПК) не обходится без промышленных загрязнений, и вопрос их очистки стоит перед каждым современным предприятием.

Учебно-методическое пособие является дополнением к лекционному курсу дисциплины "Очистка и рекуперация промышленных выбросов" и призвано расширить и углубить знания студентов, получаемые ими при прослушивании лекций. Оно содержит иллюстрации, облегчающие работу с лекционным материалом.

## Введение

Ни одно современное предприятие не проектируется без учета промышленных выбросов, источником которых оно будет являться, и без создания соответствующей промышленно-технической базы для их очистки и утилизации. Стоимость очистки выбросов оказывает весьма существенное влияние на себестоимость продукции, что особенно актуально в связи с ужесточением экологических законов в ряде ведущих промышленных стран, особенно в странах Европейского Союза. В начале 1990-х гг. по этой причине многие европейские лесопромышленные предприятия прекратили свою работу или были перепрофилированы на переработку вторичного волокнистого сырья. Следовательно, решение экологических вопросов для предприятий современного ЛПК является не менее актуальной задачей, чем совершенствование технологии основного производства.

Под *очисткой промышленных выбросов* понимается удаление из выбросов загрязнений, содержание которых регламентируется экологическими законами.

Газовые выбросы в большинстве случаев стараются перевести в водную фазу, а затем очищать на типовом оборудовании для очистки воды. Преимуществом этого является удобство (большинство вредных газов – соединения серы, азота и др. – растворимы в воде). Пылевые выбросы легко перевести в водную взвесь. Поэтому чаще всего очистка промышленных выбросов сводится к очистке сточных вод.

Под *рекуперацией промышленных выбросов* понимают возвращение их части для повторного использования в том же технологическом процессе. Многие материалы, используемые на предприятиях ЛПК в качестве сырья для производства продукции, такие, например, как целлюлозное или древесное волокно, наполнитель, некоторые реагенты, представляют ценность, поэтому часто ставится задача максимально их полного возврата из сточных вод в производство. Это особенно актуально в настоящее время в связи с попытками ведущих мировых производителей лесопромышленной продукции создать безотходные и бессточные предприятия.

## 1. Характеристика сточных вод

### 1.1. Классификация сточных вод по содержанию загрязнений

Сточные воды ЛПК в качестве основной примеси содержат целлюлозное и древесное волокно, но могут содержать также минеральный наполнитель, химические добавки, бытовые отходы. Определенную роль играют и природные воды – снеготаяние, осадки.

Наиболее вредные и трудноочищаемые – сточные воды от основного производства. Самым вредным производством в ЛПК является *производство целлюлозы* и особенно *отбелка сульфатной целлюлозы*. Сточные воды от этих производств содержат токсичные вещества – хлорорганические соединения.

Что касается *производства бумаги*, то оно не использует вредные вещества и может быть спроектировано так, что сточные воды будут отсутствовать (замкнутый цикл). Воды данного производства содержат волокно, в некоторых случаях – минеральный наполнитель, использующийся в основном при производстве писче-печатных видов бумаги. Наполнитель, содержащийся в целлюлозном материале или в сточной воде от его производства, иногда в специальной литературе «золой», как и все другие минеральные примеси. Термин этот является устоявшимся, но не совсем верным. Обычно по содержанию наполнителя, если он используется в технологии, сточные воды делят на 3 вида:

- *малозольные* – до 500 мг/л наполнителя – газетная, некоторые виды книжно-журнальной, писчей бумаги;

- *среднезольные* – 500...1000 мг/л – большинство писче-печатных видов бумаги, такие, как офсетная, иллюстрационная, основа для мелования, мелованная малой массы (LWC), офисная и др.;

- *высокозольные* – от 1000 и более мг/л – высоконаполненные виды бумаги для художественной печати, словарная, декоративная бумага для слоистых пластиков;

Сточные воды *от плитного производства* по объемам сбрасываемых вод значительно уступают целлюлозно-бумажному производству. Предприятия по производству древесных плит и пластиков характеризуются наличием залповых выбросов, содержащих токсичные отходы. Перед очисткой их рекомендуется аккумулировать и разбавлять.

Сточные воды *лесохимических и гидролизных производств* могут сильно отличаться по составу в зависимости от производимой продукции и применяемой технологии. Стоки могут содержать большое количество органических веществ, до нескольких сот видов. Схема очистки подбирается конкретно для каждого производства. Часто подходят стандартные очистные сооружения. Отходы гидролизного производства имеют кислую среду (рН примерно 2), поэтому их необходимо нейтрализовать.

## 1.2. Нормирование показателей загрязнения сточных вод

Различают до нескольких десятков показателей загрязнения сточных вод, но на практике часто ограничиваются 3-4, иногда бóльшим количеством. Нормируются следующие приведенные ниже показатели загрязнения сточной воды.

1) *Химическое потребление кислорода (ХПК)*, мг  $O_2$ /л – это количество кислорода, необходимое на окисление содержащихся в воде органических веществ; обычно колеблется от 100 до 10.000. В качестве окислителя используется бихромат калия  $K_2Cr_2O_7$  в сочетании с некоторыми вспомогательными веществами.

2) *Биологическое потребление кислорода (БПК<sub>X</sub>)*, мг  $O_2$ /л (X – количество дней выдержки сточной воды для протекания процессов естественного окисления органических веществ). Пробу выдерживают в темном шкафу при  $t = 20$  °С 5-7 дней, затем потребление кислорода определяется также, как ХПК. Показатель характеризует поведение сточной воды в природных условиях. Колеблется от 50 до 5.000.

Разность ХПК и БПК характеризует скорость окисления загрязняющих веществ в природных условиях.

3) *Перманганатная окисляемость*, мг  $O_2$ /л. Окисление ведут  $KMnO_4$ . Значения этого показателя с ХПК сопоставимы, но всегда несколько отличаются.

4) *Содержание взвешенных веществ*, мг/л – содержание сухого остатка, отфильтрованного и высушенного при  $t = 105$  °С.

5) *Прокаленный остаток* – сухой остаток прокаливают в муфельной печи обычно при 600 °С.

Существуют также специальные показатели загрязнения сточных вод: содержание каких либо веществ и ионов (тяжелые металлы, жиры, масла, определенные вещества, например, фенолы, терпены и т.п.). Сюда же относятся показатели, характеризующие виды воды: мутность, цветность, запах, температура.

## 1.3. Источники загрязнений на различных производствах предприятий ЛПК

### 1.3.1. Производство волокнистых полуфабрикатов

В качестве твердого загрязнения во всех производствах ВПФ в значительных количествах содержится древесное и целлюлозное волокно. Некоторые воды содержат минеральные примеси.

*Производство древесной массы.* Древесная масса – волокнистый полуфабрикат, получаемый механическим истиранием древесины на волокна. Из всех производств волокнистых полуфабрикатов это – наиболее

экологически чистое, применяется по всему миру, даже в Европе – широко. Распространены 2 вида древесной массы:

– дефибрерная древесная масса (ДДМ), получаемая истиранием древесных балансов на дефибрерах; производится в основном на старых предприятиях, при производстве реагенты обычно не используются, поэтому сточная вода содержит только древесное волокно;

– рафинерная древесная масса (РДМ), получаемая размолом древесной щепы на дисковых мельницах – рафинерах; наиболее распространены два ее вида:

- термомеханическая масса (ТММ), получаемая размолом при повышенной температуре предварительно пропаренной щепы; на данный момент времени – самый распространенный вид древесной массы в мире ввиду хорошего качества получаемого волокна, малого количества поврежденных волокон по сравнению с ДДМ и отсутствия реагентов при ее производстве; сточная вода содержит только древесное волокно;
- химико-термомеханическая масса (ХТММ, получаемая аналогично ТММ, но с добавлением химических реагентов ( $\text{NaHSO}_3$ ). Сточные воды данного производства содержат остаточные реагенты и продукты их взаимодействия с компонентами древесины, поэтому в Европе ХТММ почти не производится; в странах Северной и Южной Америки применяется часто.

**Производство целлюлозы.** В настоящее время в мире целлюлоза производится двумя способами – сульфатным (около 80 % от общего объема производства) и сульфитным (около 20 %). Существуют многие разновидности этих способов. Технология производства полуцеллюлозы аналогична технологии производства целлюлозы.

**Сульфитная целлюлоза.** Старый способ производства с использованием  $\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$ , согласно технологическому режиму которого варка целлюлозы ведется при  $\text{pH} \leq 2$ , называется сульфитным способом варки на кальциевом основании. Из-за возможности образования большого количества взвешенных веществ, из-за экологических трудностей при приготовлении рабочих растворов этот способ применяется всё реже и реже. Сейчас для производства сульфитной целлюлозы используются гидросульфиты аммония  $\text{NH}_4\text{HSO}_3$  и натрия  $\text{NaHSO}_3$ , где  $\text{pH}$  при варке больше 4. Разработаны также нейтрально-сульфитные способы варки при  $\text{pH} \geq 7,0$ , являющиеся более перспективными и экологически чистыми.

Экологическая опасность данного производства сильно зависит от возраста предприятий и уровня культуры производства. Сточные воды кроме волокна содержат лигносульфонаты – фрагменты разложившегося лигнина, в состав которого входят сульфогруппы. Лигносульфонаты хорошо смешиваются с водой в любых соотношениях, являются стабилизаторами некоторых дисперсий. Биологически разлагаются, но эффективно их удалять полимерными солями алюминия. Кроме того, сточная вода мо-

жет содержать простые сахара. Они легко разлагаются биологически. pH сточных вод нейтральный или слабощелочной, на старых предприятиях может быть кислым. Вода содержит большое количество реагентов:  $\text{SO}_2$ , Se, As. Для предотвращения появления токсичных веществ перед поступлением в производство  $\text{SO}_2$  наиболее целесообразно очищать в скрубберах (рис. 1, 2), эффективных как для удаления пыли из газов, так и газообразных примесей, хорошо растворимых в воде.

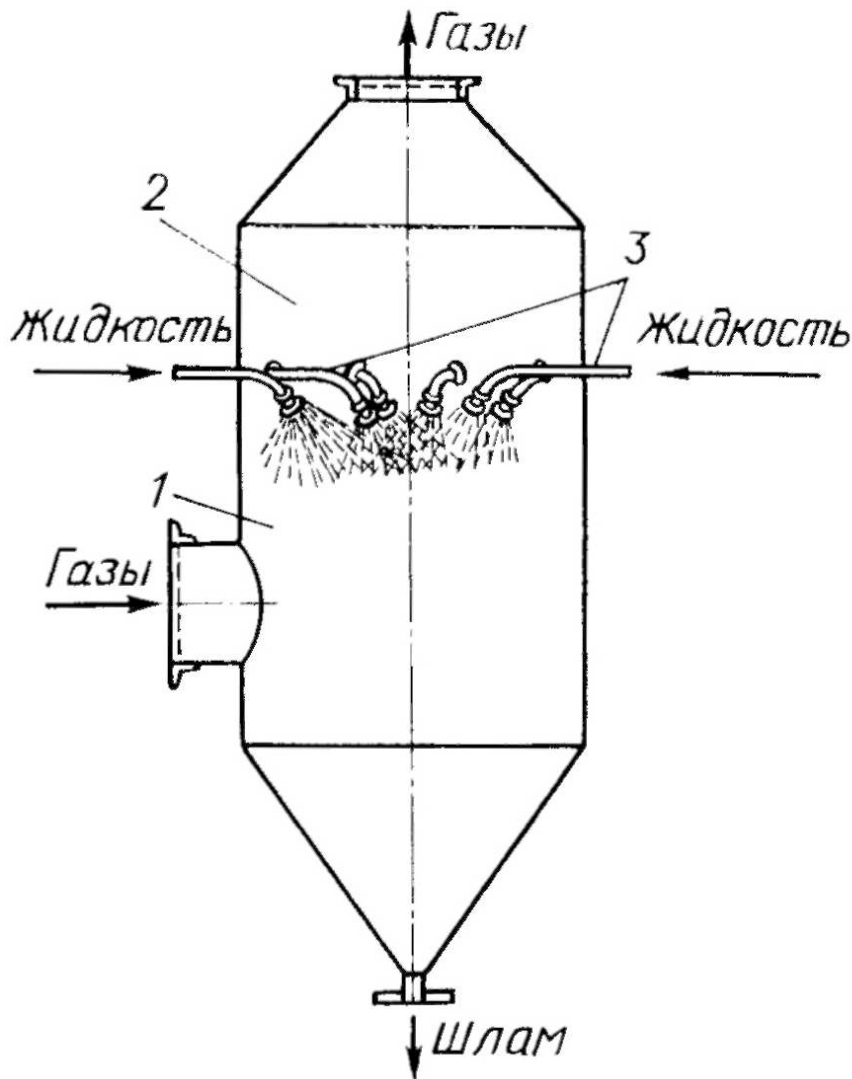


Рис. 1. Схема полового форсуночного скруббера.  
1 – входной патрубок; 2 – корпус; 3 – система орошения

Целлюлоза, полученная сульфитным способом, имеет белизну 60-70 % и нуждается лишь в легкой отбелке, которая может быть проведена экологически чистым способом: пероксидная, кислородо-щелочная отбелка и т.п. Данное производство при соответствующих капиталовложениях можно сделать экологически безопасным. Но очистные сооружения для него достаточно громоздки, занимают большую площадь.



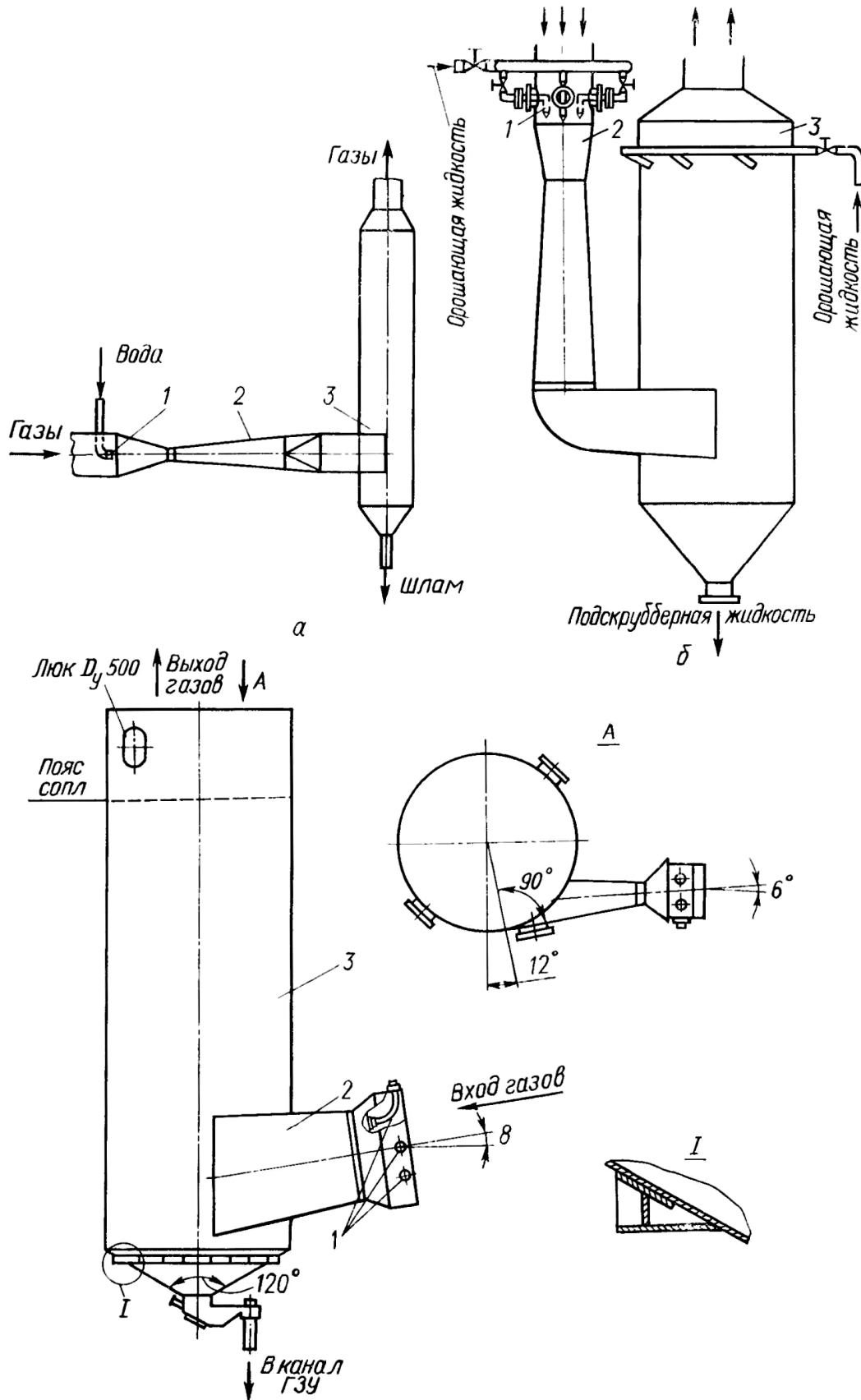


Рис. 2. Основные модификации скруббера Вентури.  
 а – высоконапорный; б – эжекторный; в – низконапорный:  
 1 – система орошения; 2 – труба Вентури; 3 – каплеуловитель.

*Сульфатная целлюлоза.* Варочный раствор (щелок) в данном случае представляет водный раствор гидроксида натрия NaOH с добавлением сульфида натрия Na<sub>2</sub>S. Кроме волокна, сточные воды данного производства содержат фрагментированный сульфатный лигнин в виде коллоидного раствора или взвеси, продукты его сульфирования, другие компоненты древесины, в том числе талловые продукты – в виде сульфатного мыла, являющееся хорошим стабилизатором дисперсий. Сточные воды от этого производства имеют преимущественно щелочную реакцию. Стоки варочного цеха не являются особо вредными и очищаются биологическим путем в сочетании с механическими способами очистки. Их особенность – неприятный запах из-за наличия сероводорода H<sub>2</sub>S и его органических производных – меркаптанов: метилсульфид (МС) HS–CH<sub>3</sub>, диметилсульфид (ДМС) H<sub>3</sub>C–S–CH<sub>3</sub>, диметилдисульфид (ДМДС) H<sub>3</sub>C–S–S–CH<sub>3</sub>. Сточные воды из цеха регенерации и каустизации содержат много взвешенных минеральных примесей, в основном в виде CaCO<sub>3</sub>.

Сульфатная целлюлоза, которая используется в производстве печатной бумаги, требует многоступенчатой – до 12 ступеней (для сравнения – 3-4 ступени для сульфитной целлюлозы) отбели в жестких условиях с использованием хлорсодержащих реагентов: диоксид хлора и гипохлорит натрия взамен устаревшей отбели молекулярным хлором Cl<sub>2</sub>. Данные вещества позволяют получить целлюлозу «без хлора», содержание которого регламентируется международными стандартами качества, но продукты их взаимодействия с компонентами древесины (с остаточным лигнином, гемицеллюлозами), отходящие со сточными водами, содержат органически связанный хлор и являются вредными для окружающей среды. Очистка воды от них – процесс трудный, длительный, требует громоздкой очистной аппаратуры, имеет высокую стоимость.

### **1.3.2. Производство бумаги и картона**

Данные производства почти не используют токсичных и вредных веществ. Основные загрязняющие вещества: волокно (древесное или целлюлозное) и наполнитель (для печатных видов бумаги). Производство отличается большим тоннажем. Увеличение скорости бумагоделательных машин (БДМ) иногда может вызывать ухудшение удержания твердого вещества на их сетках и увеличение содержания взвешенных веществ в сточной воде. Удержание наполнителя на сетке БДМ при увеличении его содержания в бумаге ухудшается в геометрической прогрессии. Ушедшие в оборотную воду взвешенные вещества необходимо максимально вернуть в производство, то есть произвести их рекуперацию. При хорошей организации внутрицеховой очистки воды, широком использовании флотационных ловушек, дисковых фильтров можно снизить до минимума нагрузку на основные очистные сооружения.

**Переработка макулатуры.** Переработка макулатуры наиболее развита в Европе и странах Северной Америки, в Японии, развивается в Китае. Традиционно макулатура считается экологически чистым сырьем, предприятия по ее переработке не требуют наличия громоздких очистных сооружений. Взвешенные вещества могут улавливаться в пределах основного производства, а органические загрязнения, растворенные или диспергированные в воде, удаляются на небольших очистных сооружениях предприятия или на городских очистных сооружениях. Возможно создание предприятий без стоков. Одно из особенностей производственной воды – наличие большого количества биологических загрязнений (бактерии, грибы), для которых среда технологического потока является питательной. Эта проблема наиболее актуальна для предприятий, ранее работавших на первичном волокне, но перепрофилированных на переработку макулатуры, т.к. на них обычно отсутствует разделение технологических потоков между основными операциями, проводимыми над бумажной массой.

Появление биологических загрязнений в бумажной массе обусловлено характером использования бумаги, в последствие ставшей макулатурой, и ее хранением на складе сырья. В композицию некоторых видов бумаги входят компоненты, связующие – являются питательной средой для бактерий (чаще всего это крахмал). Борьба с этими загрязнениями может быть проведена в рамках основного производства.

*Меры борьбы с биологическими загрязнениями:*

- использование фракционирования волокон на стадии сортирования; мелочь не поступает в производство;
- максимальное разделение технологических потоков между стадиями подготовки волокнистой массы; оборотная вода от предыдущей стадии почти не переходит на следующую;
- использование термообработки волокна – термодиспергирование при  $t = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- использование биоцидов, вводимых в волокнистую массу.

Эти мероприятия не требуют наличия большого количества специальной громоздкой аппаратуры для очистки воды. На предприятиях большой мощности с замкнутым циклом водооборота применяются среди прочих и биологические способы очистки.

### **1.3.2. Лесохимические производства**

Лесохимические производства объединяют много видов производства, которые отличаются большим разнообразием загрязнений. Количество наименований загрязнений часто достигает несколько сотен. Среди них – спирты, стерины и другие нейтральные вещества, фенолы и их производные, растворители. Лесохимические производства характеризуются отно-

сительно малым объемом выбросов, но большой концентрацией вредных примесей в них.

Наличие органических растворителей (бензина), большого количества нейтральных органических веществ требует использования специальных методов очистки, химических добавок и адсорбентов. Большое значение имеет культура основного производства. Например, старые печи для пиролиза древесины периодического действия отличались высокой экологической опасностью. Современные углевыжигательные реторты и оборудование экстракционных заводов являются почти безвредными для окружающей среды.

### 1.3.3. Гидролизные производства

Полисахариды составляют 70 % от массы всех растений на суше. При определенных условиях они способны подвергаться гидролитическому расщеплению до олиго- и моносахаридов в присутствии катализаторов, которыми обычно служат сильные минеральных кислоты. Эти реакции и лежат в основе гидролизных производств. Получаемая смесь сахаров, в свою очередь, тоже может быть впоследствии переработана различными методами, чаще всего биохимическими.

Сточные воды гидролизных производств обычно содержат в качестве загрязнений растворенные в воде моно- и олигосахариды и взвешенный гидролизный лигнин. Воды имеют кислую реакцию из-за использования в технологии сильных минеральных кислот. Это особенно сильно проявляется при использовании на некоторых предприятиях старых технологий гидролиза растительной биомассы разбавленными кислотами, в которых не производится регенерации кислоты и она теряется безвозвратно со сточными водами. Вода, поступающая на очистку из цехов переработки гидролизатов и очистки готовых продуктов, может содержать, кроме сахаров, метиловый, этиловый и другие спирты, дрожжи, фурфурол, альдегиды и кетоны.

Сточные воды гидролизного производства при правильной технологии их очистки обычно проблем не вызывают. Их целесообразно собирать со всех цехов в коллекторе, нейтрализовать и направлять на стандартные очистные сооружения. Гидролизный лигнин хорошо отделяется в отстойниках и других аппаратах механической очистки воды. Органические примеси хорошо разлагаются биологическими методами.

### 1.3.4. Производство древесностружечных плит (ДСТП)

*Особенности:*

- относительно небольшой тоннаж;
- небольшой объем сточных вод;

- использование токсичных соединений в производстве (выброс формальдегида, фенола с древесной пылью, некоторых растворителей);
- наличие залповых выбросов большой токсичности;
- легкая разлагаемость большинства видов выбросов.

*Мероприятия по снижению вредности производства:*

- оборудование цехов приточно-вытяжной вентиляцией на участке каждой технологической операции;
- индивидуальная защита персонала;
- максимальная автоматизация производства с полным исключением ручного труда;
- использование эффективной аппаратуры для улавливания газообразных выбросов; использование водяных фильтров для пыли;
- максимальное разбавление сточных вод перед подачей их на очистные сооружения; для очистки воды можно использовать стандартное очистное оборудование с биологической очисткой.

### **1.3.5. Производство древесноволокнистых плит (ДВП)**

Наиболее распространенный в России *мокрый способ* производства ДВП характеризуется наличием в сточной воде волокнистых примесей и большим количеством остаточных химических добавок, которые плохо удерживаются на волокне: парафин, лигносульфонаты, компоненты фенолформальдегидных олигомеров, серная кислота. Залповые выбросы, как правило, отсутствуют.

Для очистки применяются как внутрицеховую улавливающую аппаратуру: отстойники, флотаторы, фильтры – с целью удаления волокон и парафина из воды, так и стандартные очистные сооружения с биологической очисткой. Из производственного цеха сразу на очистные сооружения сточные воды направлять нельзя, необходима их предварительная очистка и разбавление. Большое значение имеет культура производства и используемая технология, удешевление которой ведет к увеличению выбросов и дополнительным расходам на их очистку. Перспективно совершенствование технологий использования химических добавок:

- замена серной кислоты на комплексные соли алюминия;
- использование вместо парафина современных дисперсных гидрофобизирующих составов;
- использование катионных смол пониженной токсичности с низким содержанием мономерных и низкомолекулярных продуктов; эти смолы обычно хорошо удерживаются на волокне.

Выбросы производства ДВП *сухим способом* по своему характеру схожи с выбросами производства ДСтП, но с меньшим количеством токсичных выбросов на единицу продукции. При хорошей организации производства оно может стать почти экологически безопасным. Для предот-

вращения залповых выбросов отходы надо максимально разбавлять и равномерно подавать на очистку. Волокнистые загрязнения лучше удалять при помощи внутрицеховой очистки, остальные примеси – на стандартных очистных сооружениях.

#### 1.4. Трансформация загрязняющих веществ в природных водоемах

Обычно сточная вода содержит два вида веществ – неорганические и органические. Процесс трансформации этих двух видов веществ в природных водоемах сильно различается.

**Неорганические вещества** представлены минеральными наполнителями:  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  (каолин);  $\text{CaCO}_3$  (мел);  $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$  (тальк);  $\text{TiO}_2$  (рутил);  $\text{CaSO}_4$  (гипс). Эти наполнители имеют свойство накапливаться в водоеме и изменять характеристики дна, что влияет на соотношение видов флоры и фауны в водоеме. Залповый выброс воды с большим количеством наполнителя может вызвать замор некоторых видов рыб, так как частицы наполнителя забивают жабры. Они могут вступать в реакцию с солями, содержащимися в природной воде, и изменять их состав. Залповые выбросы вызывают кратковременную адсорбцию кислорода, растворенного в воде, частицами наполнителя.

Кроме наполнителя, со сточными водами в водоем поступают и другие минеральные вещества, в том числе растворимые в воде. Часто это бывают коагулянты, используемые в технологии, особенно много их поступает в сточную воду при их перерасходе. В эту же группу входят продукты обменных реакций коагулянтов. Это вызывает накопление солей щелочных и щелочноземельных металлов в воде, особенно сульфатов.

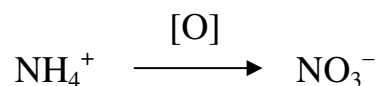
Предотвратить эти выбросы можно с помощью следующих технологических мероприятий:

- эффективная внутрицеховая очистка;
- совершенствованием технологии централизованной очистки воды;
- использование коагулянтов в сочетании с синтетическими полимерами, эффективных адсорбентов, использование ионитной очистки воды на ионообменных фильтрах.

Минеральные вещества нельзя удалить сжиганием, идут в водоем или в отвал.

**Органические вещества** представлены в основном компонентами древесины. Особенностью их трансформации в водоеме является активная адсорбция растворенного в воде кислорода, которая является долговременной. Более того, адсорбированный кислород под воздействием света и некоторых микроорганизмов вступает с органическими веществами в реакции окисления, конечными продуктами которых являются органические кислоты, впоследствии перерабатываемые микроорганизмами.

Главный вред органических выбросов предприятий ЛПК заключается в значительном снижении содержания кислорода в природной воде. Это нарушает органический баланс в водоеме и имеет следующие последствия: вымирание многих организмов; повышенное размножение сине-зеленых водорослей, анаэробных бактерий и грибов; изменение состава, цвета и запаха воды – заболачивание; нарушение процесса нитрификации – превращение аммонийных солей в нитраты, усваиваемые растениями:



Разные компоненты древесины имеют разные скорость и характер разложения в водоеме. Процессы эти сложные, механизм некоторых не до конца установлен. Выделены многие промежуточные и конечные продукты этих процессов.

Как правило, для большинства органических веществ, попадающих в природные водоемы с выбросами предприятий ЛПК, при достаточном количестве растворенного в воде кислорода характерны процессы окисления, имеющие химический, биохимический и фотохимический характер. Для высокомолекулярных веществ, в том числе полимеров, окисление сопровождается деструкцией макромолекул (деполимеризацией). В идеальном случае продуктами окисления должны быть углекислый газ и вода, но на практике низкомолекулярные продукты окисления, преимущественно низшие карбоновые кислоты, поглощаются живущими в воде микроорганизмами.

При недостатке кислорода процесс разложения органических веществ может затянуться на неопределенное время, даже на тысячелетия и больше. Органические вещества в виде так называемого «ила» накапливаются на дне, происходит изменение характера дна, постепенное заболачивание водоема, размножение анаэробных микроорганизмов. У высокомолекулярных веществ процесс деполимеризации сопровождается процессом конденсации элементарных звеньев с образованием сопряженных циклов преимущественно ароматического характера. Считается, что таким образом образовался *торф* – продукт очень длительного и неполного разложения биомассы древних растений в условиях болот, почти без доступа кислорода.

Гемицеллюлозы и простые сахара. Разлагаются быстро. Период распада простых сахаров – несколько дней, гемицеллюлоз – около 2 недель. Являются питательной средой для многих организмов. Продукты разложения – органические кислоты, вода, углекислый газ.

Экстрактивные вещества. Вещества, экстрагируемые органическими растворителями: канифоль, скипидар, жиры, стерины, углеводороды и т.п. Разлагаются очень медленно. Канифоль может не разлагаться вообще без доступа кислорода. Скипидар может окисляться до спиртов и альдегидов с

переходом в кислоты. Его разложение замедленно из-за нерастворимости в воде. Полагают, что в смесь канифоли, скипидара их производных и примесей (основа древесной смолы хвойных деревьев) в течение очень длительного времени при ограниченном доступе кислорода (в воде) способна частично окисляться и полимеризоваться, образуя *янтарь*.

Лигнин. Основные процессы его разложения – окисление по алифатическим атомам углерода, сопровождающееся деполимеризацией с образованием гумусовых веществ, в том числе ароматических кислот. Одними из промежуточных продуктов являются фенолы, в т.ч. низкомолекулярные.

*Лигносультфонаты* (Lig-OSO<sub>3</sub>H) сами по себе не токсичны, но при этом являются опасными загрязнителями, так как хорошо растворяются в воде, быстро разлагаются (иногда в течение нескольких дней) и дают большое количество токсичных продуктов разложения: низкомолекулярных фенолов и органических сульфопроизводных. Кроме токсичности, последние придают воде дурной запах.

*Гидролизный лигнин* разлагается медленно (несколько месяцев) имеет свойство накапливаться на дне водоема при его регулярных выбросах, в воде не растворяется, а его макромолекула имеет сшитую структуру. В случае накопления на дне скорость его разложения резко замедляется, изменяется характер дна, что влияет на баланс флоры и фауны водоема.

*Сульфатный лигнин* – побочный продукт сульфатной варки целлюлозы – основной компонент черного щелока. Считается, что в щелочной среде сульфатный лигнин находится в виде коллоидного раствора, стабилизаторами которого являются мыла, содержащиеся в черном щелоке, поэтому вероятность потери лигнина со сточными водами из цеха сульфатной варки большая. Предотвратить их можно наиболее полным осаждением лигнина из черного щелока в отстойниках, в вакуумных флотаторах в кислой среде (серная кислота). Вода после этих аппаратов направляется на внутрицеховую очистку (флотационные ловушки) с использованием флокулянтов и коагулянтов. В случае попадания сульфатного лигнина в водоем он ведет себя сходно с сульфитным лигнином, только разлагается несколько медленнее. Сульфатный лигнин имеет относительно небольшую молекулярную массу, представляя собой фрагменты макромолекул природного лигнина с содержанием атомов серы в виде сульфогрупп и в виде поперечных связей R-OSO<sub>3</sub>H и R<sub>1</sub>-S-R<sub>2</sub>, где R, R<sub>1</sub> и R<sub>2</sub> – алифатические атомы углерода фенилпропановых звеньев лигнина.. Период распада сульфатного лигнина – 2-3 недели, который сопровождается уменьшением содержания кислорода в воде, нарушением процесса нитрификации, выделением неприятного запаха, перерождением дна. Сульфатный лигнин сам по себе не токсичен, но токсичны некоторые продукты его разложения.

Целлюлоза. Наиболее химически стойкий и медленно разлагающийся в условиях природного водоема компонент древесины. Период распада приблизительно 2 месяца. Характер распада – био- и фотохимический,



главные процессы – окисление гидроксильных групп до карбонильных и карбоксильных с разрывом пиранозного кольца и деполимеризация по гликозидным гидроксилам, почти аналогичная гидролизу.

Конечными продуктами распада являются одно- и двухосновные низшие органические кислоты, которые без остатка поглощаются некоторыми микроорганизмами. Промежуточные продукты окисления: альдегиды (формальдегид, ацетальдегид) являются токсичными. Их концентрация обычно не высока. Благодаря развитой надмолекулярной структуре и из-за особенностей химического строения макромолекулы распад целлюлозы замедлен по сравнению с другими компонентами древесины, и целлюлозное волокно имеет повышенную адсорбирующую способность по отношению к воздуху, растворенному в воде. Кроме того, падает рН воды (с 7...8 в среднем до 6,5). Целлюлозное волокно можно улавливать на внутрицеховых или автономных очистных сооружениях. Можно использовать любой метод очистки. Но биологическая очистка протекает медленнее. Рекомендуется анаэробная очистка.

## **2. Способы очистки воды**

Различают несколько основных способов очистки воды, между которыми часто не удается установить четкое различие ввиду того, что при том или ином применяемом способе очистки протекают процессы, характерные и для других способов очистки. Например, в аппаратах механической очистки воды, например, в отстойниках, кроме седиментации частиц протекают и физико-химические (коагуляция, флокуляция), и химические (обменные реакции), и другие процессы. Однако для удобства подбора оборудования и проектирования очистных сооружений принята классификация способов очистки воды, представленная ниже.

### **2.1. Классификация способов очистки воды**

1) Механический способ – служит для удаления взвешенных, иногда диспергированных частиц (отстаивание, фильтрация).

2) Физико-химический способ – основан на процессах адсорбции и абсорбции, силах поверхностного натяжения и т.п. Этот способ наиболее часто применяется для взвесей, дисперсий, иногда для растворов.

3) Химический способ – основан на химическом воздействии на загрязняющие вещества с целью перевода их в состояние, в котором они наиболее легко улавливаются и удаляются из сточной воды, например, нерастворимое или легкоадсорбируемое состояние. Это можно сделать, в частности, с помощью обменных реакций в водном растворе. Химический

способ тесно связан с физико-химическим и используется в аппаратах механической очистки воды.

4) Биологический способ – используется свойство некоторых организмов поглощать в качестве пищи и перерабатывать загрязняющие вещества. Биологическая очистка обычно сочетается с механической очисткой.

5) Электроочистка – основана на пропускании через воду электрического тока, в результате чего происходит ускорение осаждения загрязняющих частиц за счет перезарядки их в электрическом поле.

6) Ионообменная очистка – основана на пропускании воды через ионообменный аппарат, где находится ионообменная смола – вещество, способное обменивать некоторые свои ионы на ионы, содержащиеся в загрязняющих веществах.

7) Микрофльтрация или ультрафльтрация – применяется для удаления дисперсных частиц, основана на процессе осмоса – способности частиц проникать через тонкие мембраны.

На современных очистных сооружениях используются большинство из перечисленных способов очистки воды. Наиболее эффективны они в комбинациях, так как загрязняющие вещества неоднородны по размерам частиц и химическим свойствам.

## 2.2. Системы очистки сточной воды

*Внутриплощадная* или *внутрицеховая* система очистки производится на площадях основного производства. Она представлена компактной очистной аппаратурой: флотаторы, флотационные ловушки, барабанные и дисковые фильтры, скрубберы, ионообменники, иногда – выпарные установки. Отстойники почти не используются, также как и биологическая очистка. Внутриплощадная очистная аппаратура имеет следующие особенности:

- компактность и малая занимаемая площадь;
- высокая эффективность, особенно в отношении механических загрязнений;
- относительная дороговизна эксплуатации.

Однако бывает, что подача сточной воды на автономные очистные сооружения обходится предприятию дороже. Многие механические примеси дешевле и эффективнее улавливать на внутрицеховой аппаратуре. На российских предприятиях ЛПК внутрицеховая очистка не очень развита.

Кроме того, в понятие «внутриплощадная очистка» входит перечень следующих мероприятий:

- предотвращение утечек и переливов;
- технологические меры по снижению содержания выбросов в воде; например, для производства бумаги это может быть увеличение сте-

пени удержания волокна и наполнителя не сетке БДМ, использование биоцидных добавок, улучшение общей культуры производства.

**Внеплощадная** очистка производится на автономных очистных сооружениях вне площадей основного производства. Очистные сооружения могут быть как принадлежащие предприятию, так и «городские». От этого зависит общая политика предприятия по очистке воды, количество и виды очистной аппаратуры.

Типовая схема наиболее часто встречающихся очистных сооружений представлена на рис. 3.

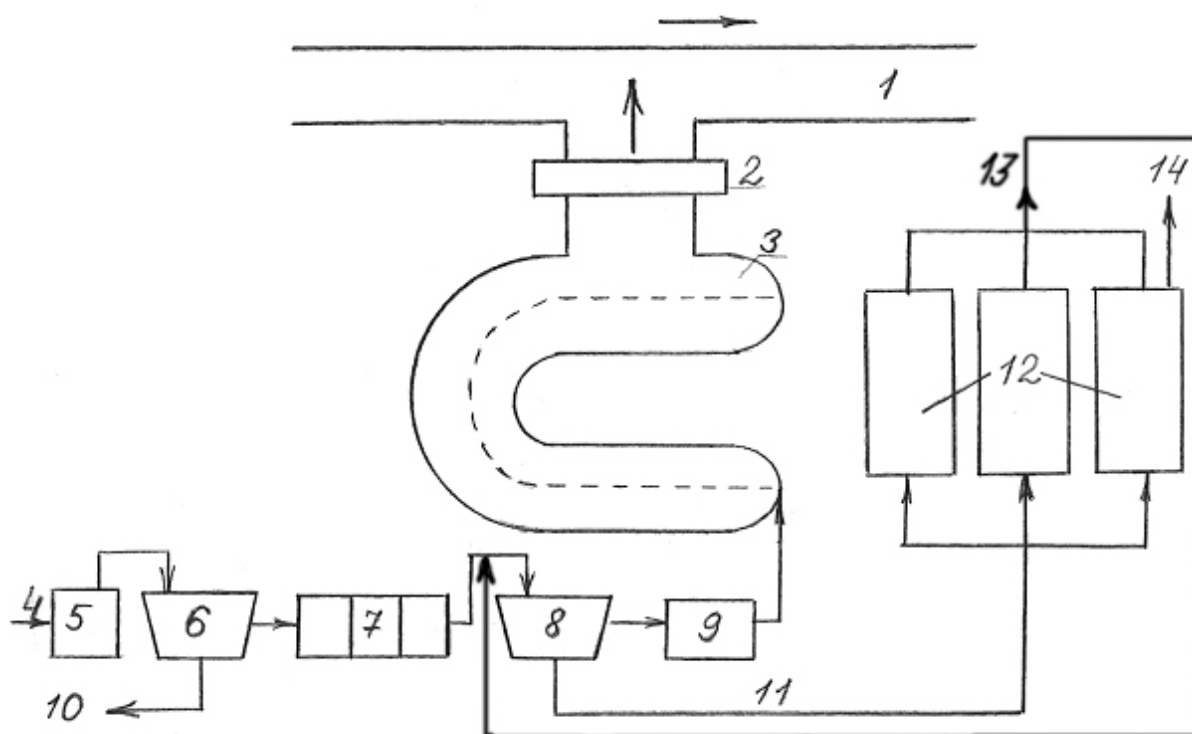


Рис. 3. Типовая схема очистных сооружений.

1 – река; 2 – плотина; 3 – пруд доочистки; 4 – подача сточной воды; 5 – предварительная грубая очистка; 6 – первичные отстойники; 7 – аэротенки; 8 – вторичные отстойники; 9 – окислительно-восстановительная обработка; 10 – твердые отходы (используется в зависимости от их вида); 11 – твердые отходы, содержащие активный ил (живые микроорганизмы); 12 – пруды дображивания или иловые карты (в них завершается биоочистка); 13 – вода из прудов дображивания; 14 – органические отходы (удобрения).

Наиболее мощные внеплощадные очистные сооружения спроектированы и работают в США и Канаде. На предприятиях Европы развита внутрицеховая очистка, а внеплощадные сооружения – в основном «городского» типа – ориентированы на бытовые и не слишком загрязненные технологические отходы. Главные причины этого – нехватка площадей и законодательство ЕС. В России функционируют автономные очистные сооружения городского типа и в основном малой мощности. Только на новых

предприятиях ЛПК проектировались внеплощадные сооружения промышленного типа, которые не работают должным образом. Городские станции очистки очищают промышленные отходы вместе с бытовыми, что не всегда эффективно. Экологическое законодательство часто не соблюдается.

Очистная аппаратура внеплощадных сооружений представлена отстойниками, сооружениями биологической очистки (метантенки, аэротенки), аппаратурой доочистки: фильтры, окислительно-восстановительное оборудование. Особенность внеплощадной очистной аппаратуры – ее громоздкость. Как правило, чем очистная аппаратура крупнее, тем при общих равных условиях выше эффективность ее работы, в том числе экономическая. Особенно это касается отстойников. Часто применяются пруды доочистки – искусственно вырытые водоемы, в которых очищенная на станциях вода какое-то время стоит в естественных условиях, при этом в ней завершаются процессы разложения органических отходов.

### 2.3. Реагентная очистка воды

Схема очистки воды по аппаратному оформлению может быть различной и включать от одной до десяти и более узлов в зависимости от вида загрязнений и требуемой степени очистки. На предприятиях ЛПК загрязнения на 99 % по массе представлены взвешенными веществами. Основным элементом очистной схемы является механическая очистка с обязательным использованием элементов физико-химической и химической очистки, часто применяется биологическая очистка. Взвешенные вещества можно удалить:

- отстаиванием (седиментацией);
- флотацией;
- фильтрованием.

Эффективность первых двух методов сильно зависит от формы, размера, вида частиц, в том числе их плотности, от их физико-химических и электрокинетических свойств. Большое значение имеет свойство частиц слипаться в результате поверхностного взаимодействия с увеличением их размеров, которое в физической химии называется *коагуляцией*, а применительно к волокнистым системам – *флокуляцией*. Протекание этих процессов зависит от свойств поверхности частиц. В природе почти все поверхности заряжены отрицательно. Причина этого в том, что отрицательно заряженные ионы имеют относительно большой радиус, высокую поляризуемость и повышенную адсорбционную способность.

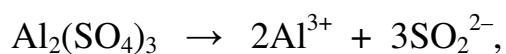
Слипанию микрочастиц всегда препятствуют силы электростатического отталкивания между ними. Из общих положений коллоидной химии известно, что в «классическом» случае дисперсная частица всегда окружена двойным электрическим слоем (ДЭС). Разность потенциалов между неподвижной и подвижной частью ДЭС называется  $\xi$ -потенциалом (электростатическим потенциалом).

кинетический потенциал). Его величина зависит от толщины ДЭС и определяет заряд поверхности частиц. Когда величина ДЭС минимальная (или он отсутствует), то  $\xi$ -потенциал равен нулю (или близок к нему). Такое состояние называется изоэлектрической точкой. При этом между частицами силы электростатического отталкивания отсутствуют и начинают преобладать силы гравитационного притяжения. Частицы начинают слипаться. Следовательно, чтобы вызвать коагуляцию, стремятся достичь изоэлектрической точки. На практике изоэлектрическая точка – не всегда самое благоприятное условие для коагуляции. Известны случаи, когда электро-нейтральные частицы не склонны к коагуляции в течение долгого времени (до нескольких месяцев). Это объясняется наличием вокруг этих частиц так называемых гидратных оболочек, т.е. слоя из связанных с их поверхностью молекул воды, которые выступают в виде своеобразного экрана, препятствуют сближению и слипанию частиц. Чтобы разрушить гидратные оболочки, нужны меры по изменению электрокинетических свойств самой воды. Использование классических коагулянтов часто бывает неэффективным, иногда даже может дать обратный эффект.

### 2.3.1. Очистка воды с помощью коагулянтов

Коагуляцию «классических» дисперсий вызывают электролиты – соли минеральных кислот. Чем выше заряд ионов, образующихся при диссоциации электролитов в воде, тем выше его коагулирующая способность.

В среднем при увеличении заряда иона на единицу его коагулирующая способность возрастает в 6-8 раз. Коагулянтами обычно выступают многозарядные ионы металлов, которые, в свою очередь, являются переходными и при этом сильными комплексообразователями (чаще всего Al и Fe). Самый распространенный коагулянт  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  – сернокислый глинозем. Механизм действия состоит в том, что в воде сульфат алюминия диссоциирует на ионы:

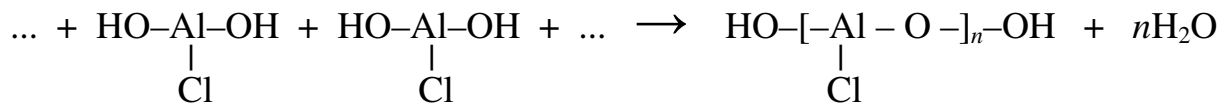


и  $\text{Al}^{3+}$  выступает коагулянтом, наиболее эффективным при  $\text{pH} = 4,5 \dots 4,7$ . При отклонении от указанных оптимальных значений  $\text{pH}$  образуются ионы с меньшим зарядом, не столь эффективные.

Процесс коагуляции можно вести так, чтобы «проскочить» изоэлектрическую точку и добиться перезарядки ядра мицеллы. ДЭС снова появляется, а  $\xi$ -потенциал имеет другой заряд. Иногда это делают намеренно, для получения катионных дисперсий. Иногда это получается при нарушении технологии и при перерасходах коагулянта.

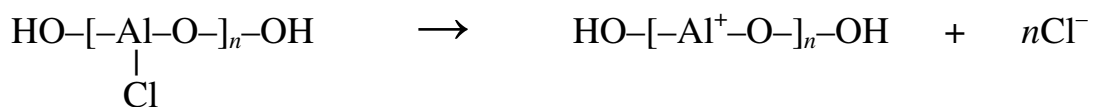
Многозарядные ионы металлов как коагулянты имеют ряд существенных недостатков, поскольку склонны к гидролизу и часто малоэффективны из-за возможности перезарядки частиц без коагуляции.

В то же время было установлено, что в качестве коагулянтов более эффективны ионы переходных металлов в виде полимерных гидроксокомплексов, которые можно получить при направленном гидролизе солей этих металлов. Так, обработав свежесаженный гидроксид алюминия  $\text{Al}(\text{OH})_3$  разбавленным раствором соляной кислоты  $\text{HCl}$ , можно получить полимерные продукты на основе  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , полностью растворимые в воде и обладающие как хорошими свойствами коагулянта, так и некоторыми свойствами флокулянта. Эти продукты не так чувствительны к pH среды, работают при  $\text{pH} = 4,2 \dots 7,0$ . Расход их меньше по сравнению с  $\text{Al}_2\text{SO}_4$ . За рубежом они выпускаются под названием основной хлорид алюминия с содержанием хлора 1 ион на 5 OH-групп. В России этот продукт называется полиоксихлорид алюминия (ПОХА), отличается большим содержанием хлорид-ионов. По внешнему виду это золотистая прозрачная жидкость (30% водный раствор с небольшой вязкостью) или желтоватые кристаллы с содержанием 60 % по сухому веществу. Считается, что в водных растворах при  $\text{pH} = 1 \dots 2$  и концентрации около 40 % по сухому веществу ПОХА – полимерный материал с низкой степенью полимеризации (3–10), где элементарное звено представлено дигидроксихлоридом алюминия, через гидроксилы соединённым в полимерную цепочку:

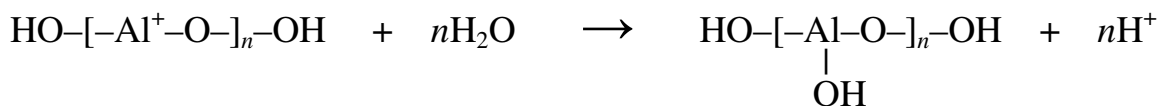


полиоксихлорид алюминия

В воде в результате отщепления ионов хлора (диссоциации) проявляет свойства катионного полиэлектролита:

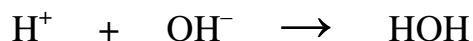


В кислой среде в результате диссоциации на всех атомах алюминия находится положительный заряд (+1). В нейтральной среде полиоксихлорид алюминия гидролизуется с образованием полигидроксида алюминия:

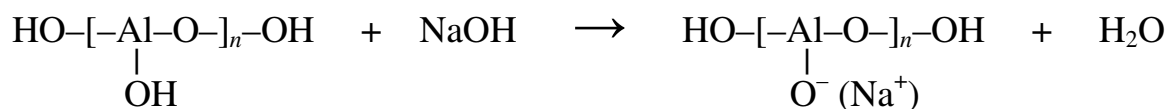


полигидроксид алюминия

При увеличении значения pH среды гидролиз полиоксихлорида усиливается согласно принципу Ле-Шателье в результате связывания водородных ионов:



В щелочной среде из-за амфотерных свойств алюминия может образовываться полиоксиалюминат, несущий отрицательный заряд:



полиоксиалюминат натрия

Во многих странах для очистки воды применяются также соединения трехвалентного железа:  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ . Это касается в основном Европы, где ограничены запасы алюминиевых руд. Эффективность солей трехвалентного железа достаточно высокая, а осадки поливалентных комплексов железа обладают хорошей адсорбционной способностью. Они быстро укрупняются, легко осаждаются в отстойниках, выводятся вместе с осадком. Главный их недостаток – это темно-коричневая окраска, поэтому соли железа нельзя использовать, когда производится рекуперация осадка в очистной аппаратуре и нормируется цвет готовой продукции.

### 2.3.2. Очистка воды с помощью флокулянтов

*Флокуляция* – это хлопьеобразование; данное понятие имеет смысл для волокнистых систем.

*Флокулянты* – это вещества, вызывающие флокуляцию.

Различают микро- и макрофлокуляцию.

*Микрофлокуляция* – это образование микрофлокул, видимых в микроскоп и почти неразличимых невооруженным глазом.. При их образовании большую роль играют поверхностные силы, в том числе электростатические. Этот процесс является во всех случаях желательным. Им можно управлять.

*Макрофлокуляция* – образование крупных хлопьев, видимых невооруженным глазом. Ведущую роль играют силы механического переплетения волокон. Этот процесс часто протекает стихийно, является желательным при отстаивании и нежелательным – при флотации. Процесс этот часто неуправляемый, иногда может возникать при перерасходе реагентов.

Различают несколько механизмов флокуляции.

1. *Механическое переплетение волокон.* Действующие силы – силы трения между их поверхностями. Механизм применим в основном к длинным волокнам.

2. *Коагуляционный механизм.* Добавкой коагулянта можно перезарядить отрицательно заряженную поверхность волокон или создать изоэлектрическую точку. Данный механизм применим к разным волокнистым сис-

темам, в том числе и к мелким волокнам. Для крупных волокон он сочетается с первым механизмом.

3. *Механизм мозаичного сцепления.* Механизм работает в условиях присутствия в системе водорастворимого катионного полиэлектролита – полимера со средней или большой молекулярной массой. Его макромолекулы, иногда коллоидные частицы, адсорбируются отрицательно заряженной поверхностью волокон, но их полной перезарядки не происходит, а образуются на их поверхности локальные положительные заряженные участки, которые чередуются с оставшимися отрицательно заряженными участками. Между разноименно заряженными участками поверхностей двух волокон возникают силы электростатического притяжения. По этому механизму можно вызвать флокуляцию не склонных к ней волокон средних и мелких размеров и усилить эффект флокуляции крупных волокон. Мозаичное сцепление способствует микрофлокуляции. При этом в систему в определенном количестве вводят катионный полимер – флокулянт.

4. *Механизм мостичных связей.* Макромолекулы полимера при достаточной длине могут разными своими концами связываться с двумя различными волокнами за счет электростатических сил с образованием так называемых мостиков (рис. 4).

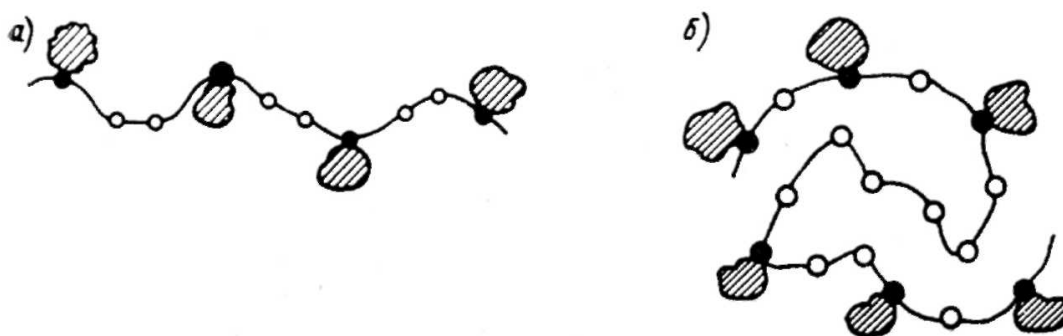


Рис. 4. Механизм образования мостичных связей.

а – вытянутая макромолекула флокулянта; б – свернутая макромолекула флокулянта; черные кружки — адсорбирующие группы флокулянта; заштрихованы частицы взвешенных веществ.

Механизм применим в основном к микроволокнистым системам и способствует очистке воды от волокнистой мелочи, микроскопических частиц наполнителя и т.п. Главное требование к полимеру – высокая степень полимеризации (не менее 100.000).

### 2.3.3. Виды флокулянтов

Все флокулянты классифицируют по следующим параметрам:

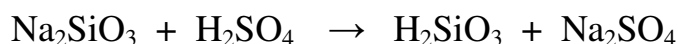
- по происхождению (неорганические и органические);
- по степени полимеризации (от 2 до 100.000 и больше);



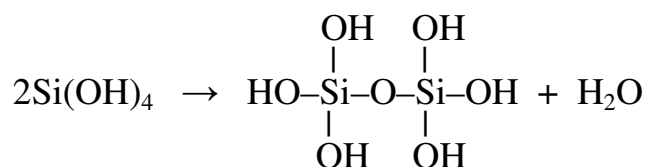
– по заряду макромолекулы: анионные, нейтральные и катионные.

### ***Низкомолекулярные неорганические флокулянты***

Активная кремниевая кислота. Она используется в виде гидрозоля (коллоидного раствора в воде). Получают активную кремниевую кислоту из водных растворов жидкого стекла медленной нейтрализацией их растворами разбавленных кислот (соляной или серной):



В результате образуется свежесозданная метакремниевая кислота, которая тут же гидратируется и полимеризуется с образованием силоксановых связей:

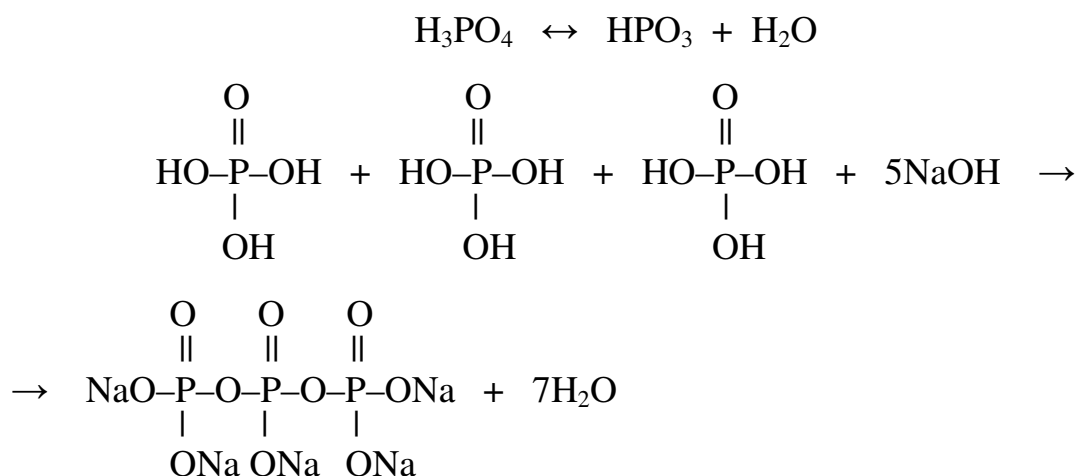


Реакцию ведут до образования сравнительно низкомолекулярных продуктов со степенью поликонденсации от 2 до 10. Товарных форм активной кремниевой кислоты не существует, золь готовят непосредственно на предприятиях, что осложняет использование. В линию очистки воды кремниевую кислоту вводят, как правило, в отстойники, где ее действие наиболее эффективно в сочетании с катионными коагулянтами и флокулянтами. Молекулы кремниевой кислоты в виде частиц золя взаимодействуют с целлюлозным волокном за счет адсорбционных сил (преимущественно электростатического характера). Коагулирующие частица золя, адсорбированные на целлюлозных волокнах или частицах наполнителя, способствуют их флокуляции и седиментации. Такие осадки легко удаляются со дна отстойника, не наносят вреда окружающей среде. Процесс коагуляции кремниевой кислоты на волокнах – фактически превращение силиказоля в силикагель с последующим сшиванием его молекулярной структуры по ОН-группировкам. Силикагель является эффективным адсорбентом по отношению к растворенным или диспергированным веществам различного характера, в том числе к ионам тяжелых металлов, которые он прочно связывает.

Активную кремниевую кислоту лучше всего использовать в первичных отстойниках и не допускать ее выхода на флотационное и фильтровальное оборудование, так как частички силикагеля плохо флотируются, забивают фильтровальную аппаратуру, обладают абразивным действием, что способствует быстрому износу оборудования.

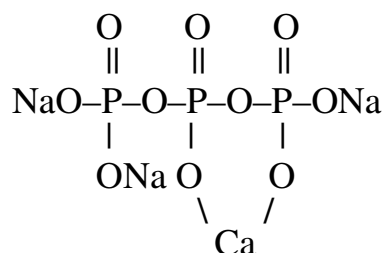
Полимерные соединения алюминия и других металлов. Выше (см. раздел 2.3.1.) уже упоминалось об использовании данных соединений в качестве коагулянтов, в то же время они обладают некоторыми свойствами флокулянтов, особенно в сочетании с соединениями анионного характера, например, с активной кремниевой кислотой или фосфатами. Наибольшее распространение получил полиоксихлорид алюминия и подобные ему соединения.

Производные фосфорной кислоты. Фосфорная кислота в водных растворах в зависимости от условий может менять свои формы:



Триполифосфат натрия (калгон)

В щелочной среде количество замещенных атомами Na групп OH равно 5, при уменьшении значений pH до близких к нейтральным оно может также уменьшаться. Данное соединение – сильный комплексообразователь, связывающий ионы многих металлов, в том числе щелочноземельных, определяющих жесткость воды – Mg, Ca:



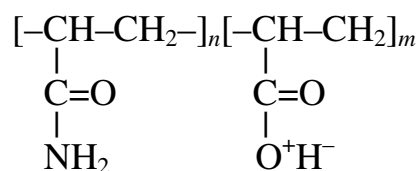
Кроме того, при определенных условиях соединение обладает свойствами флокулянта, является анионным в водной среде, следовательно, эффективно в сочетании с катионными полимерами: органическими и неорганическими. Калгон наиболее эффективен при  $\text{pH} \geq 7,5$ .

### Органические флокулянты

Обычно это полимеры с высокой степенью полимеризации, составляющей десятки и сотни тысяч, растворимые в воде.

Более низкомолекулярные полимеры работают по механизму мозаичного сцепления, иногда по механизму мостичных связей, а более высокомолекулярные – почти только по механизму мостичных связей. Главное преимущество этих механизмов флокуляции перед коагуляционным механизмом – меньшая зависимость от электрокинетических свойств воды и волокна и как следствие намного меньшие расходы полимерного реагента. В то же время эти полимеры имеют достаточно высокую стоимость. С их водными растворами тяжелее работать из-за их высокой вязкости.

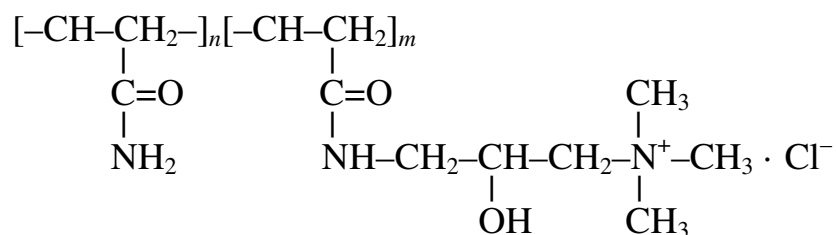
*Полиакриламиды (ПАА).*



*анионный ПАА*  $n \gg m$

Макромолекулы анионного ПАА в водной среде имеют отрицательный заряд, поэтому продукт наиболее эффективен только при определенных условиях: наличие катионных коагулянтов или флокулянтов, соединений алюминия, некоторых комплексообразователей.

Чтобы устранить этот минус, разработаны технологии синтеза катионных ПАА, макромолекула которых содержит катионную группу, например, соль четвертичного аммониевого основания:



*катионный ПАА*  $n \gg m$

При синтезе используются катионные мономеры высокой степени очистки, анионные мономеры практически отсутствуют. Катионный ПАА мало чувствителен к условиям среды по сравнению с анионным ПАА, и потому первый более эффективен, однако стоимость его выше. Обычно расход ПАА равен 0,1-0,3 кг/т сухого остатка. Выбирая между катионным и анионным ПАА, нужно учитывать особенности очищаемой воды и технологии ее очистки. Используя анионный ПАА в сочетании с неорганическими катионными полимерами, можно добиться некоторой экономии. Но

эта технология сложнее, необходим постоянный контроль свойств воды; требуется больше мастерства от технолога. Катионные ПАА проще в использовании, расход их при общих равных условиях несколько меньше. Важным условием их эффективной работы является минимальное количество или отсутствие так называемых анионных загрязнений – органических веществ, содержащих анионные группы, например, карбоксилы или сульфогруппы, способные связываться с катионными группами ПАА, что приводит к потере катионных свойств полимера.

Растворы ПАА при концентрации более 1 % имеют уже слишком большую вязкость, поэтому перекачивание их затруднено. Перевозка же растворов такой низкой концентрации транспортом экономически невыгодна, поэтому растворы ПАА готовятся непосредственно на предприятии. Это является существенным недостатком ПАА.

*Полиэтиленимины (ПЭИ).*

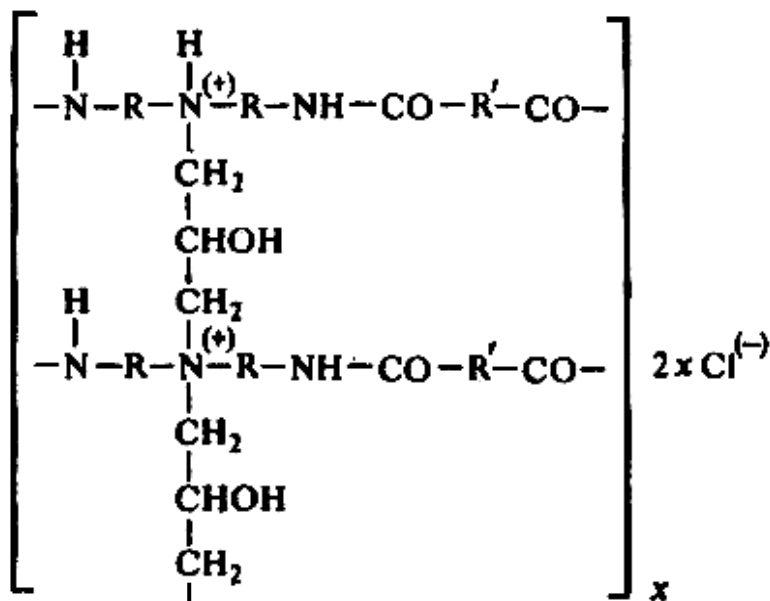


Если у ПАА молекулярная масса составляет несколько миллионов углеродных единиц, и они имеют линейное строение, то у ПЭИ она меньше примерно на порядок, то есть составляет сотни тысяч. Строение их макромолекул разветвленное. Это обуславливает преимущество ПЭИ, возможность получить растворы высокой концентрации (до 30 %). Внешний вид этих растворов – вязкая прозрачная паста желтоватого цвета. Такие растворы могут перевозиться транспортом. Обычно ПЭИ используют в виде гидрохлорида.

В водной среде это обеспечивает им катионные свойства. Работают ПЭИ по механизму мозаичного сцепления и мостичных связей. Они универсальны, малочувствительны к условиям среды и разным загрязнениям. С ними удобно работать, они безопасны для человека, хорошо очищают воду как от макро-, так и от микрозагрязнений и даже от растворенных веществ. Можно использовать немодифицированные ПЭИ, но наряду с ними также широко используются модифицированные ПЭИ, к аминным группам которых легко присоединить любые другие активные группы, например, увеличивающие положительный заряд катионной макромолекулы в водной среде, или придающие им специальные свойства, например, способность улавливать определенные ионы (хелатные свойства). ПЭИ эффективен для улавливания анионных загрязнений. Его расход – 1...5 кг/т сухого остатка. Стоимость ПЭИ ниже, чем ПАА.

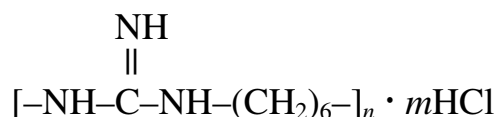
*Полиамидамины* – продукты реакции многоосновных алифатических кислот с многоосновными алифатическими аминами, а также с веществами, содержащими несколько реакционноспособных групп, например, с эпихлоргидрином – полиамидаминоэпихлоргидриновые смолы (ПААЭ). За рубежом и в России они хорошо известны как смолы «Кюмене», а их ана-

лог российского производства выпускается под названием «Водамин». Молекула ПААЭ имеет следующее строение:



Данные полимеры экологически чистые, но для очистки воды на предприятиях ЛПК не очень удобны, так как полученный осадок не возможно повторно использовать – он становится влагопрочным и, кроме того, может потемнеть.

*Гексаметиленгуанидингидрохлорид.*



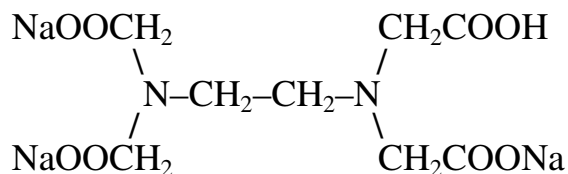
Его молекулярная масса исчисляется десятками тысяч. Внешний вид – темно-коричневые кристаллы, всегда гидратированные и растворимые в воде. Это катионный флокулянт, обладающий биоцидными свойствами. Для человека он относительно безвредный, не наносит вреда окружающей среде. Расход 1-8 кг/т сухого остатка.

Возможно использование и других синтетических полимеров для очистки воды. Главное требование – они не должны разлагаться на исходные мономеры, должны быть экологически чистые.

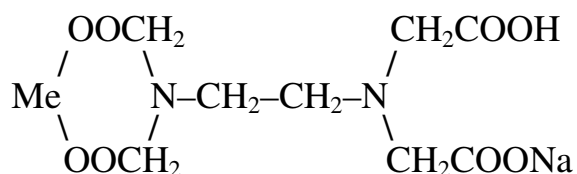
#### 2.3.4. Хелатные агенты

Термин «хелатные» происходит от греч. слова «хела» – клешня.

Одним из самых распространенных хелатных агентов, широко используемым как в отечественной, так и в зарубежной практике, является ЭДТА – этилендиаминтетраацетат, трехзамещенная натриевая соль которого называется трилон Б:



Это сильный комплексообразователь, эффективный для усиления действия коагулянтов и флокулянтов. Его особенность – возможность связывать и эффективно выводить из воды ионы тяжелых металлов. Объясняется это тем, что данные ионы, как правило, сами являются сильными комплексообразователями. Комплекс, образующийся ими с ЭДТА, очень прочный:



Трилон Б эффективен для улавливания практически всех тяжелых металлов, находящихся в воде в виде ионов или гидроксокомплексов. Особенностью его использования является антагонизм с коагулянтами (соединениями алюминия или железа), при одновременном их использовании, например, при одновременном введении в какой-либо аппарат механической очистки. Поэтому вводить трилон Б рекомендуется до введения коагулянта на стадии предварительной очистки, особенно в случае использования биологической очистки в аэротенках, так как ионы тяжелых металлов ядовиты для микроорганизмов и могут нарушить их работу. Возможно введение его на завершающей стадии очистки, если в системе нет аэротенков. В принципе есть много вариантов использования трилона Б в технологии очистки воды, каждый из которых зависит от принятой схемы очистки и видов загрязнений в воде.

### 2.3.5. Окислительно-восстановительная обработка воды

Суть ее заключается в том, что вначале в очищаемую воду вводятся сильные окислители. Это позволяет окислить остаточные органические вещества на завершающей стадии очистки воды, уничтожить микроорганизмы и резко снизить значение таких показателей, как ХПК, БПК, перманганатная окисляемость и некоторых других. На внеплощадных системах такая обработка производится на последней стадии очистки (обычно после вторичных отстойников), во внутриплощадных системах окислитель чаще всего вводится в осветленную воду после флотаторов перед баком-накопителем, из которого она подается в производство. При переработке беленой макулатуры окислитель можно вводить непосредственно в волокнистую массу и таким образом очистку сочетать с отбелкой.

Если предприятие имеет полностью замкнутый цикл водооборота, то окислительно-восстановительная обработка воды является необходимой. После введения окислителя спустя некоторое время, необходимое для завершения его действия (обычно – не менее 30 мин.), в воду вводится восстановитель для удаления остатков окислителя, которые могут быть вредными как для производства, так и для окружающей среды, и для восстановления некоторых активных групп, например, альдегидных. При переработке волокнистой массы это предотвращает ее потемнение.

### *Окислители*

1) Пероксид водорода  $H_2O_2$ , пероксид натрия  $Na_2O_2$  и перкарбонат натрия  $Na_2CO_4$  – экологически чистые окислители, не наносящие вреда человеку и окружающей среде, не требующие использования восстановителя после своего введения в воду. Хорошо окисляют остаточные альдегидные группы, свободные радикалы и являются универсальными при очистке воды. Наиболее удобен для промышленного использования перкарбонат натрия, так как он имеет наиболее длительный срок хранения, удобен для транспортировки и использования.

Указанные пероксиды широко применяются в странах ЕС, в России их использование для очистки воды ограничено в связи с высокой стоимостью этих веществ.

2) Гипохлорит натрия  $NaClO$  – один из самых распространенных в промышленности окислителей из-за относительно низкой стоимости и высокой эффективности. Применяется широко в США, используется и в России вместо постепенно выходящего из употребления гипохлорита кальция  $Ca(ClO)_2$ , недостатком которого является нерастворимость в воде. В Европе  $NaClO$  используется ограниченно.

Выпускается  $NaClO$  в виде концентрированных водных растворов с небольшой добавкой  $NaOH$ .  $NaClO$  – вещество с неприятным запахом, вредное для человека, вызывает аллергию, концентрированный раствор может вызвать ожог, при попадании на кожу трудно смывается водой. Эффективный и даже агрессивный окислитель, работает уже при комнатной температуре, скорость реакций окисления возрастает при нагревании. Окисляет такие группы, как альдегидная и спиртовая, кратные связи, при нагревании – ароматические соединения, по отношению к целлюлозе также агрессивен, может расщеплять пиранозные кольца, разрушать надмолекулярную структуру и, следовательно, волокна. Для волокнистой массы рекомендуется кратковременная обработка при температуре 20-30 °С. Некоторые комплексообразователи – полифосфаты, хелаты – могут замедлить действие  $NaClO$  за счет образования с ними промежуточных соединений и сделать процесс окисления более управляемым. После обработки воды  $NaClO$  необходимо использование восстановителя.

3) Озон  $O_3$  – газ со специфическим запахом синеватого цвета. Газ плохо хранится, взрывоопасен. Должен использоваться там же, где и был получен. Технология обработки воды и водноволокнистых систем озоном находится пока на стадии развития. Результаты показывают, что в обработанной воде исчезает биологическая активность, окисляются некоторые функциональные группы, поэтому основные показатели воды улучшаются. С другой стороны, озон может вызвать как повышение белизны целлюлозного волокна, так и ее снижение, так как он является жестким окислителем и при воздействии на кратную связь вызывает ее расщепление с образованием вторичных углерод-кислородных двойных связей.

Результат отбеливания озоном зависит от конкретного вида волокна и часто бывает непредсказуемым. Для очистки воды его использование предпочтительнее и очень перспективно, потому что это продукт экологически чистый.

4) Атомарный кислород  $[O]$ . По характеру действия это более мягкий и направленный окислитель по сравнению с озоном. Хорошо окисляет лигнин в щелочной среде с его фрагментацией, экстрактивные вещества древесины. Плохо растворяется в воде, поэтому работа только в автоклаве при высоком давлении и температуре. Экологически чистая технология, но дорогая, в том числе в аппаратном оформлении.

5) Молекулярный хлор  $Cl_2$  – тяжелый газ, который удобно хранить и транспортировать в баллонах, стоит недорого, в воде растворяется хорошо. Уничтожает биологические загрязнения, окисляет органические вещества. Одним из существенных недостатков является возможность взаимодействия с водой с образованием хлорноватистой кислоты, особенно при воздействии температуры и света. Многие органические вещества способны присоединять хлор с образованием хлорорганических продуктов, вредных для человека и окружающей среды. По этой причине использование атомарного хлора в странах ЕС ограничено.

Главные требования к окислителям для очистки воды – безопасность для человека и окружающей среды, доступность и низкая стоимость.

### ***Восстановители***

Они применяются намного реже и в основном для того, чтобы удалить остатки окислителя из воды. Наиболее часто применяют гидросульфит  $NaHSO_3$  и гипосульфит  $Na_2S_2O_3$  натрия. Первый применяется для внутриплощадных систем очистки, в том числе для обработки водноволокнистых суспензий, восстанавливает некоторые окисленные группы, например, альдегидную до спиртовой. Может вызвать частичное расщепление и фрагментацию лигнина с переходом его в водный раствор. Это происходит при высоких температурах и давлении (от  $140\text{ }^\circ\text{C}$ ). При  $120\text{ }^\circ\text{C}$  реакции восстановления идут по функциональным группам. Гидросульфит



фитную обработку волокнистой массы рекомендуется проводить после гипохлоритной.

Гипосульфит натрия – белый порошок, обычно гранулированный, хорошо хранится и транспортируется в мешках, не вреден для человека. Это мягкий восстановитель, воздействует на функциональные группы органических веществ, на свободные радикалы, в том числе и неорганические. Он эффективен для удаления остаточных окислителей из очищаемой воды, почти не содержащей уже взвешенных веществ, особенно после обработки воды гипохлоритом. Остаточный хлор из воды удаляется полностью. Вещество это относительно дорогое, но применение его оправданно, поэтому он широко применяется везде – США, Европа, Россия.

### 3. Оборудование для механической очистки воды

#### 3.1. Отстойники

Принцип работы отстойников основан на гравитационном осаждении взвешенных частиц водной суспензии.

Так называемые *песколовки* (рис. 5) – обычно упрощенный вариант конусной ловушки, хотя бывают и других конструкций. Кроме гравитационных, большую роль в их работе обычно играет центробежная сила. Песколовки устанавливаются обычно в начале внеплощадных очистных сооружений и ориентированы они в основном на удаление крупных частиц (песка и других минеральных примесей). Скорость движения воды в горизонтальных песколовках должна быть в пределах 0,15...0,3 м/с, в аэрируемых – не более 0,08...0,12 м/с.

Собственно отстойники бывают нескольких типов, наиболее распространены горизонтальные, радиальные и вертикальные (рис. 6). В России отстойники выпускаются диаметром до 54 м, в США – до 100 м. Обычно это врытые в землю железобетонные конструкции. Эффективность отстойника возрастает с увеличением его размеров и в среднем составляет 60-80 % для предприятий ЛПК (без использования реагентов). С реагентами их эффективность может быть увеличена до 90 %.

*Горизонтальные отстойники* (рис. 6а) на предприятиях ЛПК используются сравнительно редко и в основном для внутрицеховой очистки воды. Их преимуществом является сравнительно удобная эксплуатация и простота обслуживания. У них простая гидродинамика, в некоторых случаях более высокая эффективность по сравнению с отстойниками других типов при меньших габаритах. Их использование экономит производственные площади.

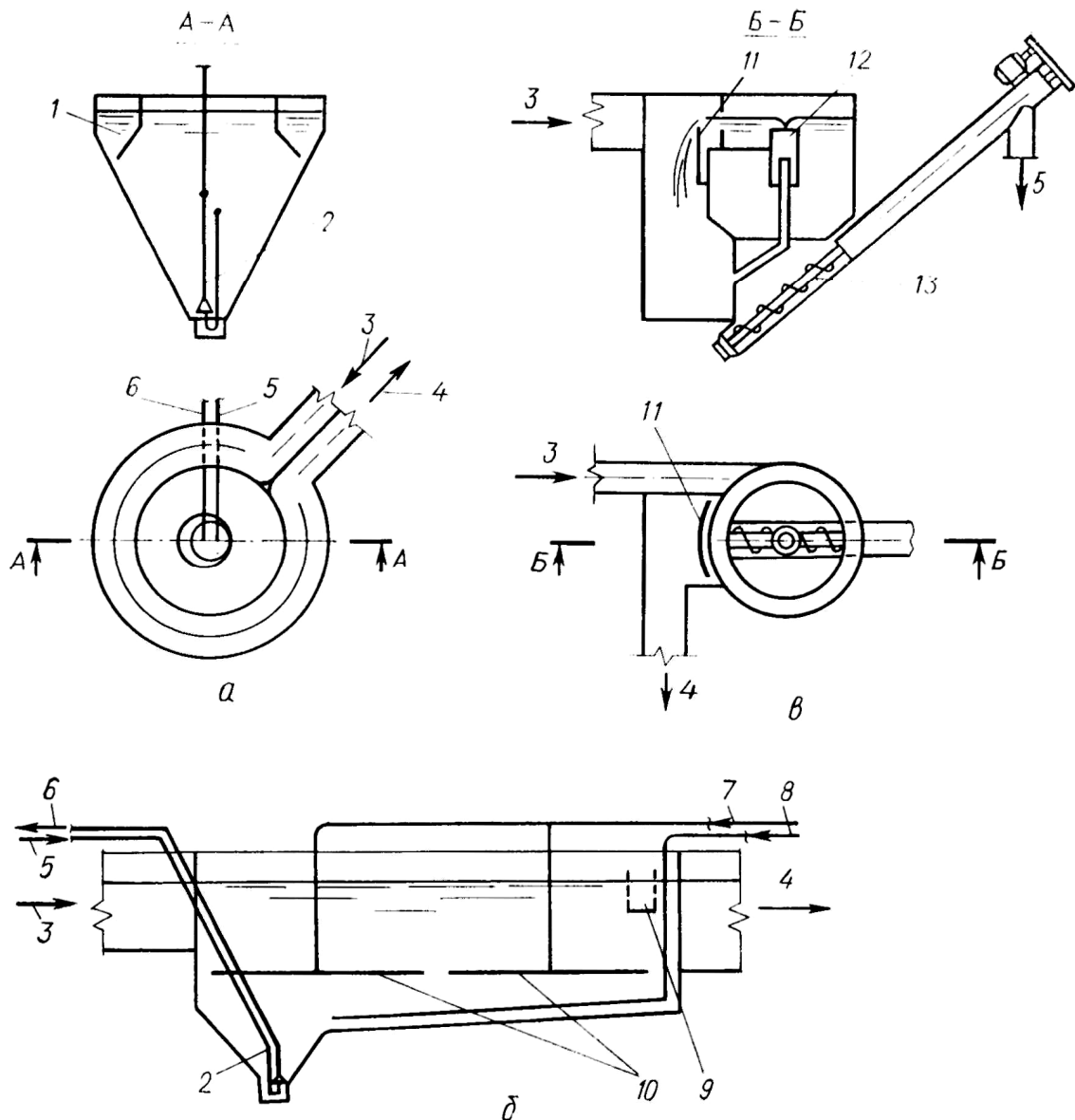


Рис. 5. Схемы песколовков:

*а* – горизонтальная с круговым движением воды; *б* – аэрируемая; *в* — тангенциальная; 1 – осадительный желоб; 2 – гидроэлеватор; 3 – подвод сточной воды; 4 – отвод сточной воды; 5 – подвод воды в гидроэлеватор; 6 – отвод осадка; 7 – подвод воздуха; 8 – подвод воды для гидросмыва песка; 9 – бункер для всплывающих примесей; 10 – аэраторы; 11 – подвижной водослив; 12 – телескопическая труба; 13 – винт.

*Радиальные отстойники* (рис. 6б) на предприятиях ЛПК чаще всего используются для первичной очистки воды на внеплощадных очистных сооружениях. На крупных предприятиях их диаметр достигает до 54 м. Радиальные отстойники по сравнению с другими типами имеют наиболее высокую единичную производительность.

Одним из самых распространенных видов отстойников на предприятиях ЛПК являются *конусные ловушки* (рис. 6г).

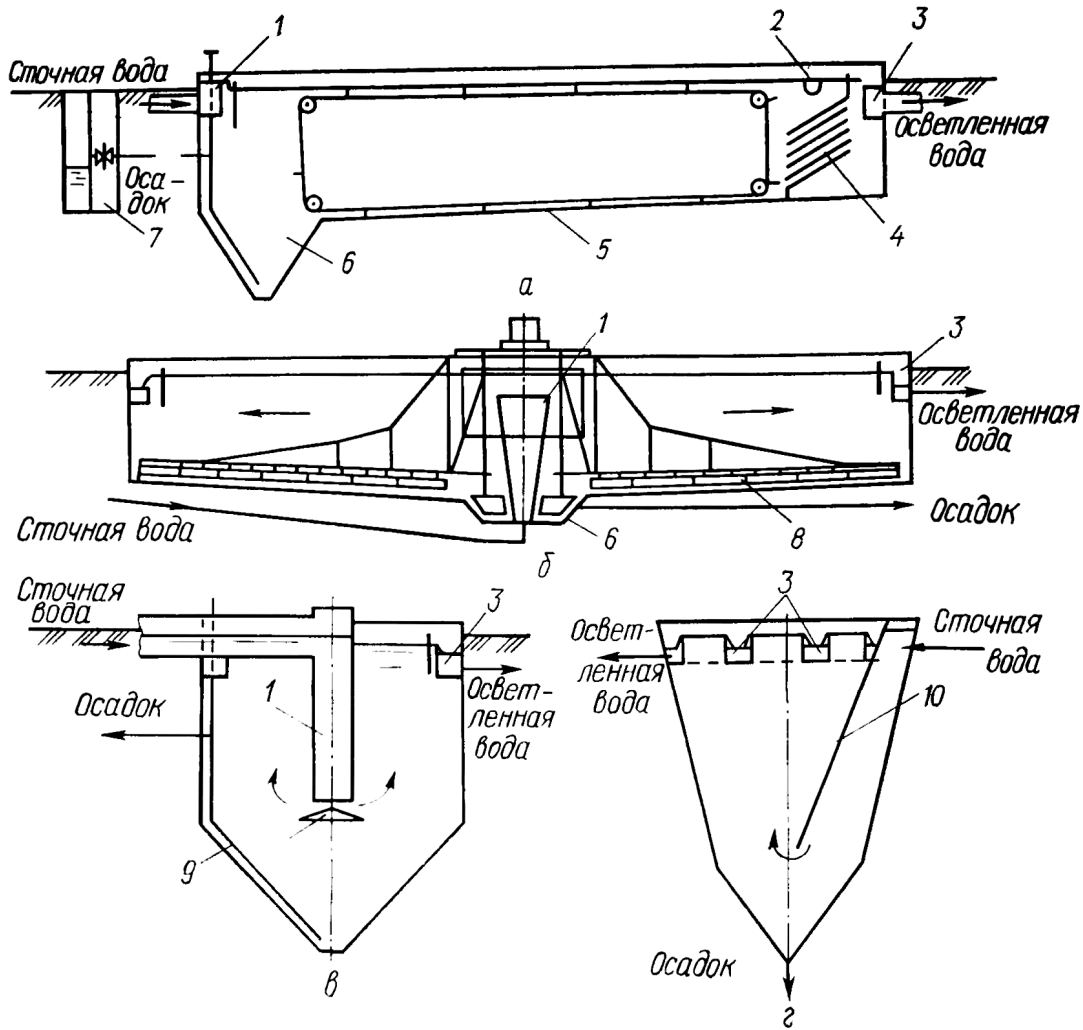


Рис. 6. Схемы основных типов отстойников:

*a* — горизонтальный; *б* — радиальный; *в* — вертикальный; *г* — конусная массоловушка системы Антуан; 1 — распределительное устройство; 2 — устройство для отведения всплывающих примесей; 3 — сборное устройство; 4 — полочный блок; 5 — скребковый механизм; 6 — приямок для осадка; 7 — колодец осадка; 8 — илоскреб; 9 — осадкоотводящая труба; 10 — наклонный щит.

По внешнему виду конусная ловушка — это железобетонный конус диаметром от 3 м, либо врытый в землю, либо установленный на поверхности. Сточная вода вводится в верхнюю часть конуса, где ей сообщается вихревое движение, то есть на взвешенные частицы воздействует не только гравитация, но и центробежная сила. Частицы отбрасываются к периферии конуса и собираются в нижней его части на стенках. Для облегчения удаления осадка с них используются устройства для смыва водой. Осадок еще в жидком виде (суспензия) удаляется из нижней части конуса, а осветленная вода переливом отбирается из верхней части. Устройство простое в эксплуатации, достаточно эффективное, может быть более сложной конструкции, когда внутри конуса используются дополнительные конусы. Эффективность зависит от характера гидродинамического потока воды, важен

наклон конуса. При увеличении скорости движения потока ослабевает действие гравитационных сил, но увеличивается действие центробежных, которые воздействуют в основном на тяжелые частицы. Плотность волокна примерно  $1500 \text{ кг/м}^3$ . Плотность наполнителя –  $2500...4500 \text{ кг/м}^3$ . Если стоки волокносодержащие, то целесообразнее использовать широкие конусы; для удаления песка, наполнителя, их агрегатов – узкие конусы с быстрым движением потока воды.

Конусные ловушки эффективны для очистки воды при переработке как первичного (целлюлоза, полуцеллюлоза, древесная масса), так и вторичного (макулатура) волокнистого сырья.

Конструкции отстойников постоянно совершенствуются. Недостатком всех видов отстойников является их громоздкость и большие капитальные вложения, необходимые при их монтаже. Поэтому для действующих предприятий наиболее выгодны модернизация и интенсификация работы уже используемых там отстойников. Так, например, одним из усовершенствований конструкции горизонтальных отстойников стало помещение в их рабочую камеру специальных насадок, или «полок» – конструкций в основном кубической формы, состоящих из множества параллельных металлических пластин, расположенных под определенным углом, или множества металлических сеток с отверстиями определенного диаметра, или других приспособлений, увеличивающих рабочую поверхность полок (рис. 7).

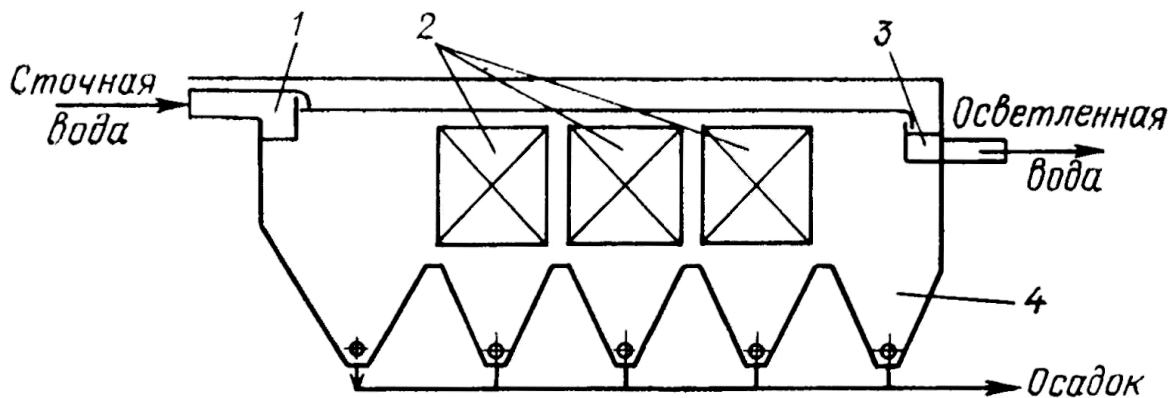


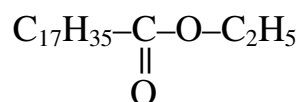
Рис. 7. Схема горизонтального полочного отстойника:  
1 – распределительное устройство; 2 – полочные блоки;  
3 – сборное устройство; 4 – приямки для осадка.

Поток очищаемой воды, проходя через рабочую камеру отстойника, встречает на своем пути полки, в которых задерживаются взвешенные частицы, интенсифицируются процессы коагуляции и флокуляции ввиду большой суммарной поверхности полок, с которых осадок оседает в приямки и непрерывно откачивается оттуда.

Перед отстойниками в воду целесообразно вводить реагенты, облегчающую агрегацию частиц – коагулянты и флокулянты.

Седиментации взвешенных частиц в отстойниках препятствует адсорбированный ими воздух. Для повышения эффективности отстаивания воздух из очищаемой воды желательно удалить. Распространенные на предприятиях ЛПК вакуумные установки деаэрации массы часто не подходят для этой цели, так как их эксплуатация в условиях малой концентрации сточной воды невыгодна и они ненадежны. Эффективней всего в аккумуляторный бак сточной воды перед отстойниками вводить реагенты – так называемые *деаэраторы*. Это ПАВ, снижающие поверхностное натяжение на границе раздела фаз «вода-волокно-воздух» и за счет этого вытесняющие пузырьки воздуха с поверхности волокна и других взвешенных частиц. Кроме того, молекулы деаэратора адсорбируются на поверхности раздела фаз «вода-воздух», то есть на поверхности микропузырьков воздуха, диспергированных в воде, и уменьшают сродство этих пузырьков к водной среде, вытесняя их на поверхность.

В качестве реагентов-деаэраторов обычно используют водные дисперсии сложных эфиров высших жирных кислот, например, этиловый эфир стеариновой кислоты:



Выпускаются эти дисперсии с концентрацией 30 %, разливаются в полиэтиленовые баки массой обычно 500 кг, хранятся долго. Расход их небольшой (0,05-0,10 кг/т сух. вещ.).

Деаэратор нельзя вводить непосредственно в отстойник, так как происходит интенсивное вытеснение воздуха на его поверхность, увлекающее за собой взвешенные частицы в виде пены, то есть происходит обратный эффект, напоминающий флотацию.

### 3.2. Флотаторы

Процесс флотации основан на физико-химических свойствах поверхностей взвешенных в воде частиц загрязнений образовывать так называемые флотокомплексы с пузырьками воздуха, которые всплывают на поверхность воды. В основе этих процессов лежат силы поверхностного натяжения на границе раздела фаз «твердое тело (частица) – вода – воздух (пузырек газа)».

Наибольшее распространение получила напорная флотация, принцип которой состоит в том, что в очищаемую воду под давлением нагнетается воздух. Затем вода поступает во флотационную камеру, где давление сбрасывается, в результате растворенный воздух начинает выделяться из воды

в виде микропузырьков, увлекая за собой частицы загрязнений, собирающиеся на поверхности воды в виде пены. Пена непрерывно удаляется либо механическим способом с помощью так называемых гребков – на старых и на компактных установках, либо с помощью вакуума – на более мощных современных установках. Гребковые флотационные установки дешевле и проще в эксплуатации, вакуумные – более дорогие, но при этом более производительные и эффективные, поэтому нашли широкое применение на европейских предприятиях ЛПК.

В России флотационные установки не столь распространены, как в Европе, однако применяются для внутриплощадной очистки воды и для доочистки воды на внеплощадных сооружениях.

Распространенной разновидностью флотационных ловушек является ловушка гребкового типа марки «Мегаселл» фирмы «Крофт» (рис. 8), используемая на некоторых российских предприятиях для внутрицеховой очистки воды. Оптимальный размер пузырьков в установке принят в диапазоне 40-60 мкм, скорость подъема их составляет 300 м/мин. Это достигается растворением воздуха при давлении 5-6 Бар (500-600 кПа).

В ней используется двойная технология очистки, которая объединяет флотацию как в однонаправленном, так и во встречном потоке в пределах одной установки, что позволяет достичь высокой производительности на чрезвычайно компактной установке.

Флотация в однонаправленном потоке работает на стадии предварительной очистки, позволяет удалить максимальное количество взвешенных веществ, но является малоэффективной при выделении мелкодисперсной взвеси. Флотация во встречном потоке эффективна для удаления мелкодисперсной взвеси, но малоэффективна при высокой концентрации взвешенных веществ.

Установка «Мегаселл» последовательно использует обе технологии, удаляя вначале основное содержание взвешенных веществ, затем извлекает мелкодисперсную взвесь. Она состоит из резервуара флотации, камеры насыщения воды воздухом, рециркуляционного насоса и компрессора.

Для приготовления раствора флокулянта используется установка «Полиматик-2000», состоящая из механического питателя-дозатора порошка, баков приготовления раствора и дозирующих насосов.

Избыточная вода из сборника насосом подается на установку «Мегаселл». Там она перемешивается с водно-воздушной смесью, поступающей под давлением из камеры насыщения (АДТ), и вводится в прямоугольный резервуар флотации. Главной деталью резервуара является пакет V-элементов, установленных под углом, открытая часть которых обращена вверх. При введении воды в резервуар она попадает в распределитель, расположенный под пакетом V-элементов и имеющий прямоугольную форму с переменным поперечным сечением.

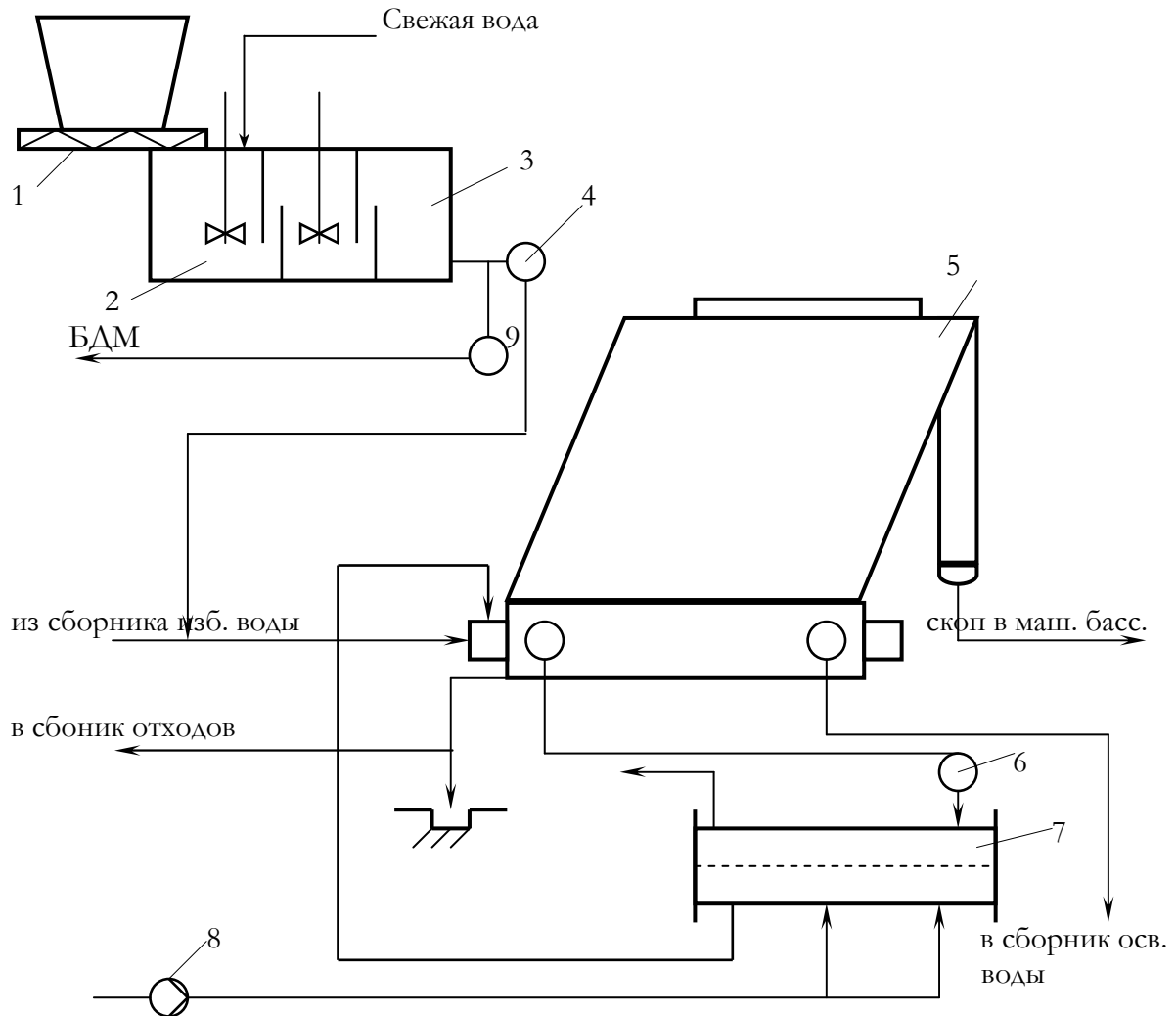


Рис. 8. Схема установки осветления воды «Мегаселл».

1 – механический питатель-дозатор порошка; 2 – баки приготовления раствора флокулянта; 3 – бак готового раствора флокулянта; 4 – дозировочный насос; 5 – резервуар флотации; 6 – рециркуляционный насос; 7 – установка «АДТ» (камера насыщения); 8 – компрессор; 9 – насос для подачи раствора флокулянта на БДМ.

Распределение потока воды происходит через отверстия, расположенные в нижнем углу распределителя, диаметром 30 мм. Вода распределяется между V-элементами, ее давление падает, и происходит выделение пузырьков воздуха и отделение взвешенных веществ по принципу флотации в однонаправленном потоке. В это время удаляется 90% включений, которые направляются к поверхности воды и образуют там плотный слой шлама.

Далее предварительно очищенная вода поступает внутрь каждого V-элемента, где происходит выделение твердых включений с использованием флотации во встречном потоке. В результате этого происходит флотация микрочастиц, которые также направляются к поверхности воды в

верхнюю часть резервуара флотации. Очищенная вода удаляется из закрытого днища каждого V-элемента с помощью объединенного коллектора и выходит в общий трубопровод осветленной воды.

Сфлотированный шлам удаляется с помощью сгребного устройства и поверхностного скребка, лопасти которого установлены на раме, движущейся вперед и назад на расстоянии 60 см. Когда рама движется вперед, лопасти погружены в шлам и подталкивают шлам к сгребному устройству. При движении назад лопасти поверхностного скребка подняты над слоем. Данный осадок из камеры флотации подталкивается донным скребком к небольшому грязесборнику и отводится с помощью специального клапана. Принцип работы донного скребка такой же, как и поверхностного.

Осветленная вода отводится в сборник осветленной воды, уловленное волокно – в машинный бассейн БДМ. Шлам со дна удаляется в бассейн отходов в целлюлозный цех или при промывке резервуара флотации в канализацию.

Для получения водно-воздушной смеси, необходимой для процесса флотации, подаваемой в избыточную воду перед входом в установку осветления, установлена камера насыщения (АДТ), в которую тангенциально с давлением 5 Бар рециркуляционным насосом подается часть осветленной воды из резервуара флотации. Вода проходит спирально по всей камере, встречая на пути сжатый воздух, нагнетаемый в камеру компрессором через специальные пластины диспергирования. Вода и воздух внутри АДТ перемешивается в течение 10 сек и выходит через выходной патрубок. Нерастворенный воздух скапливается в центре и выводится через специальный выход, расположенный в центре камеры. Давление воздуха всегда должно быть больше давления воды на 1 Бар, для того чтобы избежать попадания воды в воздухопроводы.

Раствор флокулянта (обычно это ПАА) готовится на установке «Полиматик-2000», работающей в автоматическом режиме и обеспечивающей непрерывное приготовление флокулянта. Две секции бака снабжены мешалками для приготовления раствора заданной концентрации, третья секция – это бак хранения готового раствора. Раствор флокулянта одним дозирующим насосом подается для очистки оборотной воды на установку «Мегаселл», другим – для удержания мелкого волокна в массном потоке. При оптимальной дозировке флокулянта концентрация взвешенных веществ в осветленной воде должна быть 10...15 мг/л.

К преимуществам флотационных установок следует отнести компактность, высокую эффективность (обычно не меньше 95%). Установки подходят для очистки воды от большинства видов загрязнений, но не очень крупных, которые лучше сначала удалить в конусной ловушке.

К недостаткам метода очистки воды с помощью флотации относится то, что система работает при перепаде давления с использованием нескольких насосов и компрессора, к которым предъявляются повышенные



требования по эффективности и надежности. На их работу тратится большое количество электроэнергии. Наиболее эффективны флотаторы для внутриплощадной очистки воды или для ее доочистки для внеплощадной очистки. Во втором случае они применяются редко из-за дороговизны процесса очистки в них. Перед подачей воды в камеру давления она разбавляется осветленной водой и в нее вводятся реагенты, которые не должны препятствовать работе сил поверхностного натяжения. Флотаторы широко применяются на европейских предприятиях ввиду своей высокой эффективности и ограниченности производственных площадей, там распространены флотаторы вакуумного типа.

### **3.3. Осветлители**

Данные аппараты обеспечивают наиболее полное протекание процессов коагуляции и флокуляции в очищаемой воде, что часто бывает невозможным в других аппаратах механической очистки. При общих равных условиях использование осветлителей в схеме очистных сооружений позволяет существенно экономить реагенты.

Наибольшее распространение получили осветлители со слоем взвешенных частиц (рис. 9), принцип работы которых состоит в создании в их рабочей камере аппарата постоянно находящегося там слоя взвешенных в воде частиц загрязнений, размер и количество которых поддерживается на постоянном уровне. Взвешенные частицы сточной воды, поступая в рабочую камеру, коагулируют с частицами взвешенного слоя, укрупняются, за счет гидродинамических сил отводятся к периферии аппарата и отбираются в верхней его части. Из верхней части аппарата отбирается осветленная вода. В основе работы аппарата лежат контролируемые процессы коагуляции и флокуляции. Важны электрокинетические свойства очищаемой воды и вводимые в нее реагенты. Важна также и гидродинамика потока в рабочей камере, которая должна обеспечивать равномерное распределение частиц во взвешенном слое и эффективное удаление осадка.

Гидродинамика – слабое место осветлителей, при малейшем ее нарушении, даже при изменении температуры очищаемой воды, эффективность осветлителей может резко упасть. Отечественные аппараты, большинство типов которых были спроектированы в 1960-е...1970-е гг. на основе опытных зарубежных прототипов, были наиболее совершенными по технико-экономическим показателям (оптимальное соотношение цены и качества), обходились без мешалок, сложных насосов, были эффективны в работе и дешевы в обслуживании. Зарубежные аналоги обычно комплектовались мешалками и, несмотря на свою высокую эффективность, имели достаточно сложную конструкцию, были неудобны в обслуживании и распространения не получили.

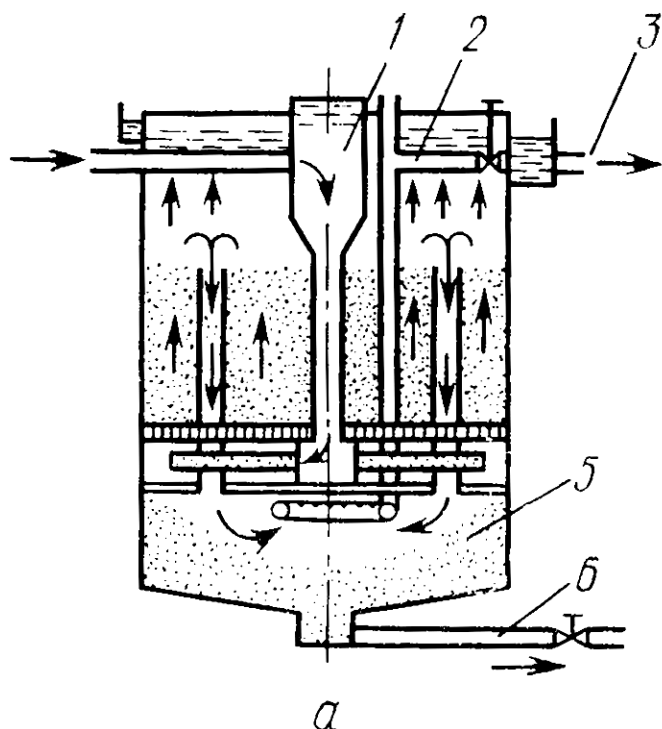


Рис. 9. Осветлитель со слоем взвешенных частиц:

1 – воздухоотделитель; 2 – отбор осветленной воды из уплотнителя; 3 – отвод осветленной воды; 4 – взвешенный осадок; 5 – уплотнитель осадка; 6 – выпуск осадка.

По внешнему виду осветлители со слоем взвешенных частиц – цилиндрические аппараты, выполненные из стали, диаметром около 10 м. Установка осветлителей содержит несколько аппаратов. Такие установки с последовательным пропуском сточной воды через несколько осветлителей (обычно 2-3) могут применяться как для внутриплощадной очистки воды, так и на централизованных очистных сооружениях. В первом случае очищаемую воду перед поступлением на осветлители необходимо разбавлять осветленной водой, так как данные аппараты рассчитаны на работу при сравнительно невысокой концентрации взвешенных веществ в очищаемой воде. Во втором случае осветлители целесообразно использовать для доочистки воды, например, после вторичных отстойников.

Эффективность очистки воды от взвешенных веществ в осветлителях при использовании добавок коагулянтов и флокулянтов достигает 100 %. В эксплуатации эти аппараты намного дешевле, чем флотаторы, так как не требуют использования компрессоров и многочисленных насосов. Однако при использовании осветлителей со взвешенным слоем необходимо строгое соблюдение технологии их использования, так как они очень чувствительны к изменениям технологических факторов.

### 3.4. Сетчатые фильтры

Принцип работы сетчатых фильтров состоит в пропускании сточной воды через сетки с определенной ширины отверстиями. Взвешенные частицы задерживаются на сетке. Чем больше размер отверстий в сетке, тем

выше производительность фильтра и тем меньше вероятность забивания сетки частицами загрязнений и выхода ее из строя, но тем ниже эффективность фильтра. На предприятиях ЛПК используются стандартные фильтровальные сетки с размером ячеек от 0,3х0,3 до 0,5х0,5 мм, а для микрофильтров, если в них есть необходимость – от 0,04х0,04 до 0,07х0,07 мм или даже более мелкие. В процессе работы фильтровальные сетки нуждаются в регулярной, а иногда – и в непрерывной промывке. Сетки изготавливаются либо из металла (чаще всего – фосфористой бронзы), либо – в более современном варианте – из синтетических материалов, обычно из полиамида.

Большое распространение получили сетчатые фильтры с намывным волокнистым слоем. Наносимый на поверхность сетки слой целлюлозного или древесного волокна повышает эффективность фильтрации и защищает сетку от забивания.

До недавнего времени на предприятиях ЛПК широко использовались барабанные сетчатые фильтры. Рабочим органом этого устройства является непрерывно вращающийся сетчатый барабан, внутри которого создается вакуум либо за счет перепада уровней воды в нем и в ванне, либо с помощью вакуумного насоса. Барабан вращается внутри ванны, в которую подается сточная вода, которая фильтруется внутрь барабана за счет перепада давления, а осветленная вода непрерывно отводится из барабана. В настоящее время подобные фильтры используются всё реже, в основном они остались на старых предприятиях. Это обусловлено следующими их недостатками: относительно малая удельная поверхность фильтрования; высокий расход энергии на вращение барабана при относительно низкой производительности; большие габариты; высокая скорость забивания сетки, особенно при очистке воды, содержащей минеральный наполнитель.

Дальнейшим развитием конструкции сетчатых фильтров стал переход от барабанных к дисковым фильтрам (рис. 10). По принципу работы дисковые фильтры не сильно отличаются от барабанных, но имеют намного большую поверхность фильтрации, занимают меньше места, более эффективны. Диски располагаются на одном приводном валу, подключенному к вакуумной системе, и вращаются в ванне. Фильтрация воды происходит внутрь дисков, в которых создается вакуум с помощью барометрических труб или вакуумного насоса. Осадок с поверхности дисков удаляется с помощью sprays.

Дисковые фильтры широко применяются на европейских предприятиях, реже – в России, так как в отечественной практике часто возникали проблемы с забиванием сеток при попытке очистки воды с высоким со-

держанием наполнителя. В зарубежной практике этой проблемы, по свидетельству литературных источников, не возникает.<sup>1</sup>

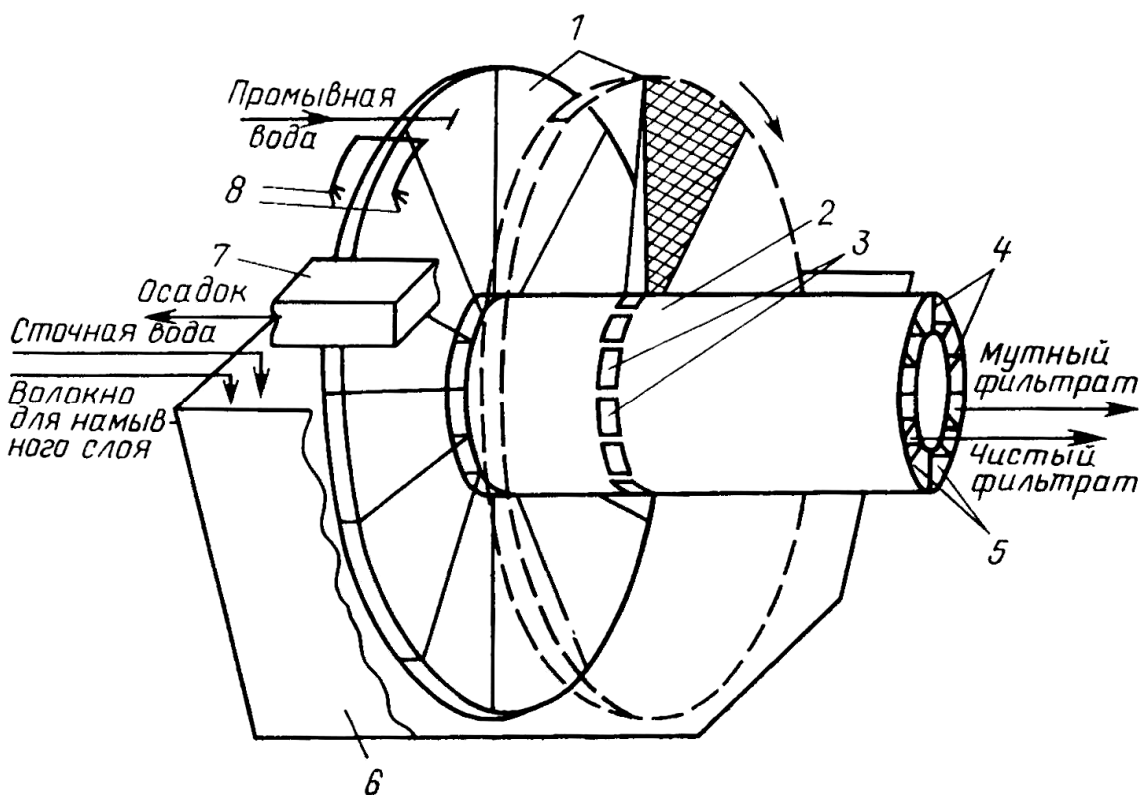


Рис. 10. Принципиальная схема дискового фильтра:

- 1 – секторы дисков; 2 – горизонтальный вал; 3 – окна для установки секторов;  
 4 – продольные перегородки; 5 – зоны; 6 – ванна; 7 – желоб для осадка;  
 8 – sprыски для смыва осадка.

В целом дисковые фильтры достаточно универсальны, подходят для воды с различными характеристиками. Эффективность очистки воды на дисковых фильтрах – до 98 %. Так как дисковые фильтры занимают относительно небольшие производственные площади, то могут применяться для внутриплощадной очистки. Эффективно их применение для доочистки воды после вторичных отстойников на централизованных очистных сооружениях. Установка дисковых фильтров на предприятиях связана с высокими капиталовложениями.

<sup>1</sup> **Papermaking Science and Technology**. Book 7: Recycled Fiber and Deinking. – TAPPI Press, 1998.

### 3.5. Фильтры с загрузкой

Эти устройства состоят из рабочей камеры, в которую помещается так называемая загрузка – сыпучий материал, через который происходит фильтрация сточной воды, подаваемой в верхнюю часть рабочей камеры (рис. 11). Оросительное устройство должно обеспечивать равномерную подачу сточной воды по всей рабочей площади фильтра.

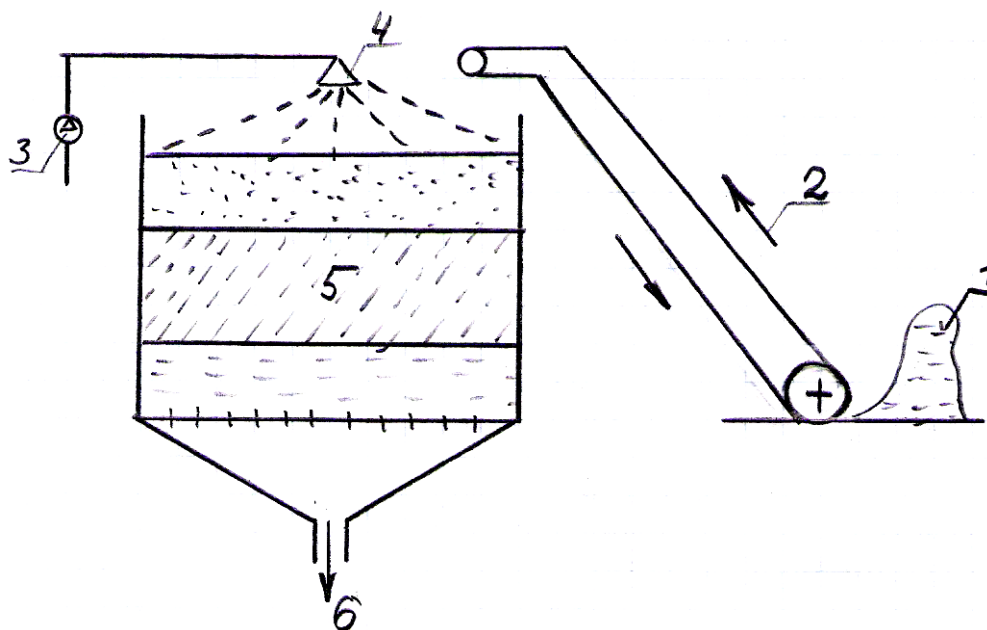


Рис. 11. Типовая конструкция фильтра с загрузкой:

- 1 – запас загрузки; 2 – ленточный конвейер для подачи загрузки;  
 3 – насос для сточной воды; 4 – устройство подачи сточной воды в фильтр;  
 5 – камера фильтра; 6 – выход осветленной воды.

В качестве загрузки обычно используют какой-либо достаточно дешевый минерал, например, кварцевый песок. Иногда применяются керамзит, антрацит и другие минералы. Для компактных фильтров, использующихся для специальной подготовки воды, когда главным критерием является высокое качество очистки, могут применяться дорогие виды загрузки, например, ионообменные смолы и активированный уголь.

Сточная вода подается в верхнюю часть камеры фильтра, в которой находится загрузка в один или несколько слоев (последний случай имеет место, когда в фильтре используется загрузка разного вида). Вода проходит через все слои загрузки, при этом частицы загрузки адсорбируют содержащиеся в воде загрязнения. Внизу камеры находится ложное дно, через отверстия в котором проходит вода.

Фильтры с загрузкой эффективны для очистки воды от большинства видов загрязнений. Рекомендуется их использование на завершающих этапах доочистки воды, в этом случае загрузка работает дольше. Эффективность очистки – около 99 %. Они достаточно универсальны ввиду массы

преимуществ: простое аппаратное оформление, высокая эффективность, дешевая загрузка. К недостаткам фильтров с загрузкой можно отнести громоздкость и сложности с утилизацией отработанной загрузки. Существуют технологии ее регенерации, но в условиях России это экономически невыгодно. Отработанная загрузка может использоваться как компонент строительного цемента. Срок службы одной загрузки от нескольких дней до нескольких недель.

После того, как загрузка отработала – об этом судят по падению скорости фильтрации – камера фильтра открывается в нижней части, отработанную загрузку выгружают в отвал, камеру закрывают и конвейером загружают свежую загрузку. На это тратится определенное время, поэтому на предприятии должно быть минимум два таких фильтра.

## 4. Биологическая очистка воды

Биологическая очистка основана на способности некоторых микроорганизмов использовать загрязнения сточных вод в качестве пищи. Данным методом можно эффективно удалять органические примеси, особенно растворенные, но он эффективен также и для удаления диспергированных в воде органических соединений. Взвешенные органические вещества лучше удалить в аппаратах первичной очистки (песколовках и первичных отстойниках), но биологические методы также позволяют частично избавиться от них, например, в результате биохимического окисления, флокуляции при участии биополимеров с последующим их удалением во вторичных отстойниках.

Биологическая очистка бывает двух видов:

- *аэробная* – используются микроорганизмы, для жизнедеятельности которых необходим растворенный в воде кислород (в виде воздуха);
- *анаэробная* – микроорганизмы перерабатывают органические вещества без доступа кислорода.

### 4.1. Аэробная очистка воды

Аппаратное оформление сооружений аэробной очистки воды может отличаться в зависимости от наличия производственных площадей и применяемой технологии. В России наибольшее распространение получила промышленная очистка воды в *аэротенках* – железобетонных резервуарах, через которые пропускается сточная вода и в которых находится *активный ил* – колонии различных микроорганизмов – бактерий, играющих главную роль в окислении органических веществ, и других простейших; могут встречаться черви, личинки насекомых и др. Внизу (в районе дна) аэротен-

ков располагаются барботеры – устройства для подачи воздуха. Подаваемый ими воздух должен не только обеспечить определенную концентрацию кислорода в очищаемой воде (не менее 0,2...0,5 мг/л), но и хорошее перемешивание сточной воды с активным илом.

Аэротенк работает по непрерывному режиму. Средняя продолжительность пребывания сточной воды в нем составляет 1,5...10 часов, иногда больше. В процессе работы аэротенка активный ил потребляет органические вещества, благодаря чему непрерывно растет, его масса увеличивается. Избыток активного ила удаляется во вторичных отстойниках, расположенных сразу после аэротенков.

Как показывает практика, биологическая очистка в аэротенках эффективна не только в отношении органических веществ, подвергающихся биохимическому окислению, но и в отношении веществ, непосредственно не участвующих в нем. Активный ил сорбирует органические и неорганические вещества, в том числе ионы тяжелых металлов, способствует протеканию процессов коагуляции и флокуляции. Поэтому биологическую очистку в аэротенках следует рассматривать как универсальный способ очистки воды. Однако высокая токсичность очищаемой воды может вызвать гибель микроорганизмов активного ила, поэтому перед подачей на аэротенки ее необходимо устранить (например, использованием реагентов, особенно комплексообразователей).

Кроме аэротенков, для аэробной очистки воды применяются так называемые биологические пруды (лагуны) – искусственно созданные проточные водоемы глубиной до 5 м. В литературе очистку воды в этих прудах часто называют лагунной. Биологические пруды бывают с естественной и искусственной аэрацией, во втором случае воздух нагнетается в них с помощью воздуходувок и иногда используется рециркуляция активного ила, что повышает эффективность очистки. Пруды с искусственной аэрацией более эффективны, но и требуют более высоких затрат на эксплуатацию. Пруды с естественной аэрацией удобно использовать для доочистки воды в естественных условиях после основных очистных сооружений, включающих аэротенки (см. рис. 3), однако в зарубежной практике их используют неохотно ввиду больших занимаемых площадей при относительно невысокой эффективности. Пруды биологической очистки необходимо регулярно чистить и удалять избыток активного ила, который требует утилизации.

Для аэробной очистки воды иногда могут использоваться биофильтры, где сточная вода фильтруется через толщу загрузочного материала большой удельной поверхности, на которой адсорбированы микроорганизмы. Размножаясь, они образуют биопленку. По сравнению с аэротенками и биологическими прудами биофильтры менее распространены.

Наиболее эффективно использование избыточного активного ила, накапливающегося на очистных сооружениях, в качестве сельскохозяйст-

венного удобрения, но при условии, что он не содержит избытка тяжелых металлов и других вредных веществ. Во втором случае его отжимают (обычно в центрифугах), подсушивают до влажности около 60 % и сжигают. Это малоэффективное топливо, особенно если учесть затраты на его обезвоживание перед сжиганием.

#### 4.2. Анаэробная очистка воды

На первой стадии анаэробной очистки органические вещества подвергаются сбраживанию с помощью кислотообразующих бактерий, конечными продуктами которого являются низшие карбоновые кислоты (уксусная, пропионовая, масляная). На второй стадии данные кислоты служат источником питания для метановых бактерий. Продуктом метанового брожения является так называемый биогаз, содержащий до 80 % метана.

Распространенным типом анаэробного реактора является реактор типа «Биотане», разработанный в Голландии (рис. 12).

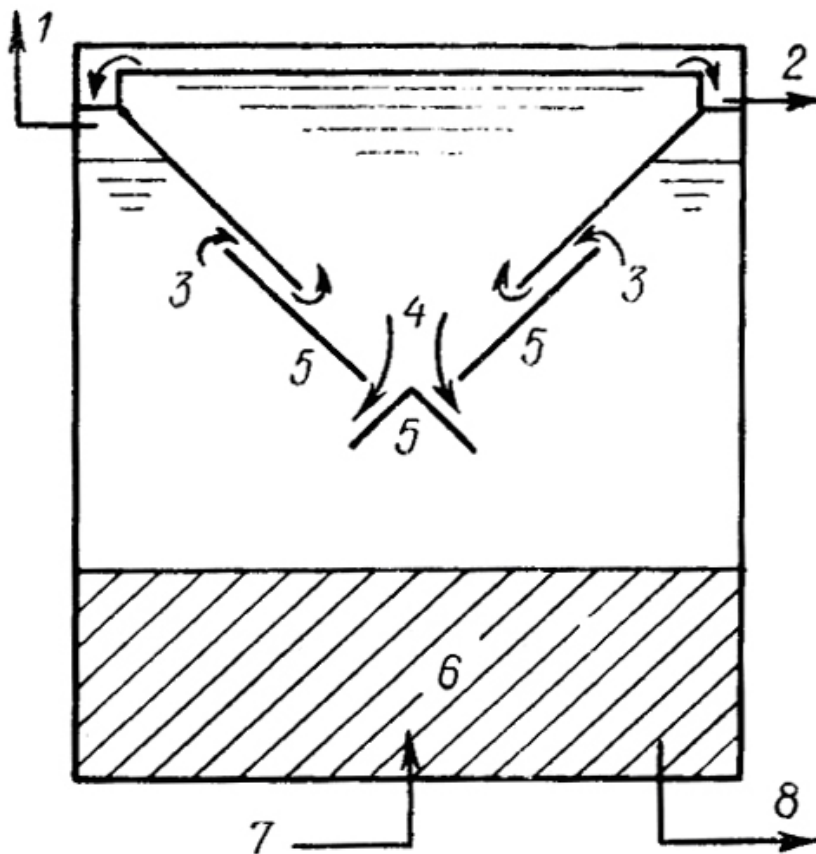


Рис. 12. Схема анаэробного реактора Биотане:  
1 – биогаз; 2 – очищенная вода; 3 – вода на отстаивание; 4 – возврат оседающего ила; 5 – направляющие пластины для газа; 6 – взвешенный слой ила (иловый матрас); 7 – поступающая сточная вода; 8 – избыточный ил.

Реактор «Биотане» отличается относительной простотой устройства и удобством эксплуатации. В нем не используются перемешивающие устройства, так как перемешивание бродящей смеси осуществляется за счет движения биогаза из нижней зоны, где образуется его наибольшая часть, в



верхнюю. Основные процессы брожения протекают во взвешенном слое ила (так называемый «иловый матрас»), где его концентрация составляет 50...100 кг/м<sup>3</sup>. В данном реакторе могут протекать обе стадии анаэробного брожения, но эффективнее использовать его исключительно для метанового брожения, а первую стадию кислотного брожения осуществлять в отдельном, специально для нее предназначенном реакторе.

Оптимальные условия метанового брожения следующие: температура – 30...35 °С; рН = 6,8...7,2; добавка биогенных солей, необходимых для жизнедеятельности метановых бактерий.

Преимущества анаэробной очистки по сравнению с аэробной заключаются в следующем:

- отсутствие аэрации и перемешивающих устройств в реакторах, что экономит электроэнергию;
- производство биогаза, являющегося эффективным топливом, что экономически выгодно, особенно при большом количестве перерабатываемых сточных вод;
- малый прирост ила, следовательно, меньше проблем с его утилизацией.

В то же время анаэробная очистка имеет и некоторые недостатки:

- высокая чувствительность метановых бактерий к малейшим изменениям условий среды – температуры, рН, наличию в среде окислителей, ионов тяжелых металлов, сульфидов, фенолов;
- анаэробная очистка дает ощутимый экономический эффект только при переработке сточных вод с высокой концентрацией загрязнений и в достаточно больших объемах; образующийся биогаз в реакторах малой производительности можно использовать только для нужд самой анаэробной установки;

Эффективность очистки сточной воды анаэробным методом теоретически может достигать 90 % при условии, что из нее удалена большая часть трудно разлагаемых биологическими методами взвешенных веществ. Она эффективна для бытовых и для других видов сточных вод с высокой концентрацией растворенных органических веществ. Внутриплощадная очистка воды на анаэробных установках также может эффективно использоваться в технологии переработки макулатуры на стадии разделения технологических потоков, где показатель БПК<sub>5</sub> сточной воды может превышать 10.000 мг/л, а ХПК – 50.000 мг/л.

Эффективно сочетание анаэробной очистки с аэробной, когда доочистка воды после анаэробной установки производится в аэротенках или биологических прудах. При этом на отдельных стадиях очистки необходимо использовать биологические методы.

## 5. Очистка воды методом ионного обмена

Производственная вода всегда содержит ионы растворенных веществ, в основном это катионы металлов и низкомолекулярные анионы минеральных кислот. При увеличении степени замкнутости технологического потока предприятия с целью снижения или даже полного исключения выброса сточной воды эти ионы накапливаются в оборотной воде, концентрация их растет, что может привести к нарушению технологии производства, снижению качества выпускаемой продукции. В частности, некоторые ионы снижают эффективность работы некоторых реагентов, например, катионных полимеров, гидрофобизирующих веществ и т.д. Происходит «засаливание» производственной воды.

Иногда для удаления минеральных солей и других растворенных примесей в производственной воде применяется выпарка. Однако в последнее время наблюдается непрерывный рост мировых цен на энергоресурсы, в связи с чем выпарка с целью обессоливания воды признана экономически неэффективной, и большинство ведущих мировых предприятий ЛПК используют очистку воды методом ионного обмена.

Кроме удаления из воды большинства видов распространенных солей, данный метод позволяет удалить ионы тяжелых металлов, концентрация которых обычно не бывает особенно высокой по сравнению с концентрацией первых, но которые обладают высокой токсичностью для человека и окружающей среды.

Для очистки воды методом ионного обмена используют ионообменные фильтры различной конструкции, наибольшее распространение среди которых получили напорные ионообменные фильтры. Они представляют собой цилиндрические резервуары с полусферическим днищем, выполненные из стали. Вода через эти фильтры пропускается под давлением. Внутри рабочей камеры фильтра помещают *ионит* – сшитое высокомолекулярное вещество, нерастворимое в воде, но содержащее активные группы, способные обменивать свои ионы на ионы, содержащиеся в воде. Иногда иониты называют *ионообменными смолами*, хотя этот термин в настоящее время является устаревшим. Иониты делятся на три вида:

- *катиониты* – способны обменивать катионы, обычно металлов;
- *аниониты* – способны обменивать анионы;
- *амфолиты* – при определенных условиях способны обменивать либо катионы, либо анионы.

Установки ионообменных фильтров часто используются для внутрицеховой очистки воды, особенно на европейских предприятиях, где сброс сточной воды и забор свежей строго регламентируется законодательством. Их можно применять и на централизованных очистных сооружениях, осо-

бенно если сточная вода содержит ионы тяжелых металлов. Схема универсального ионообменного фильтра показана на рис. 13.

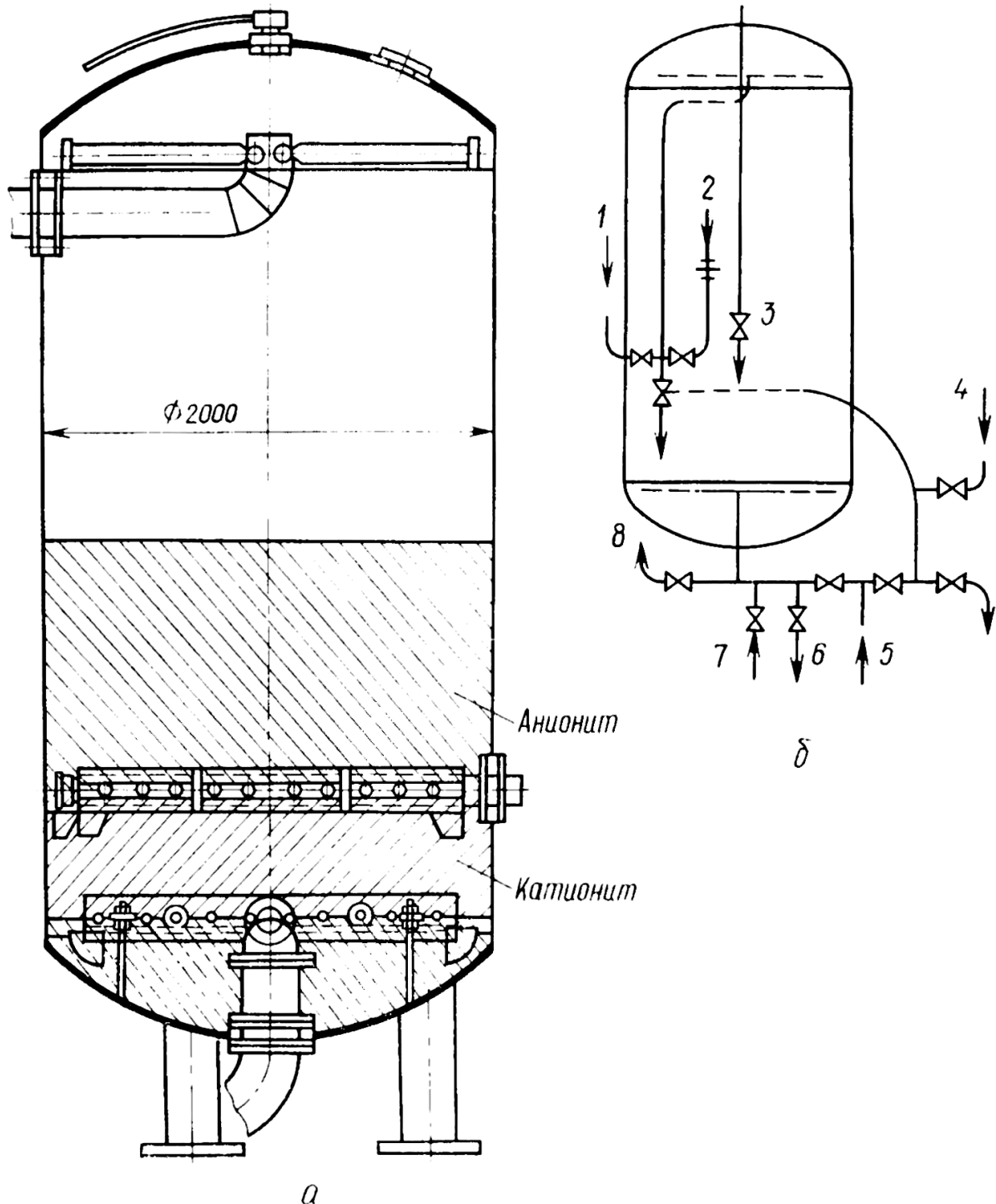


Рис. 13. Универсальный ионообменный фильтр:  
 а – продольный разрез; б – схема фронта; 1 – подвод воды, подлежащей очистке;  
 2 – подвод раствора щелочи; 3 – отвод воздуха; 4 – подвод раствора кислоты;  
 5 – подвод воды для разделения ионитов; 6 – дренаж; 7 – подвод воздуха;  
 8 – отвод очищенной воды.

Схема напорного катионитового фильтра, предназначенного для очистки воды от ионов металлов, показана на рис. 14.

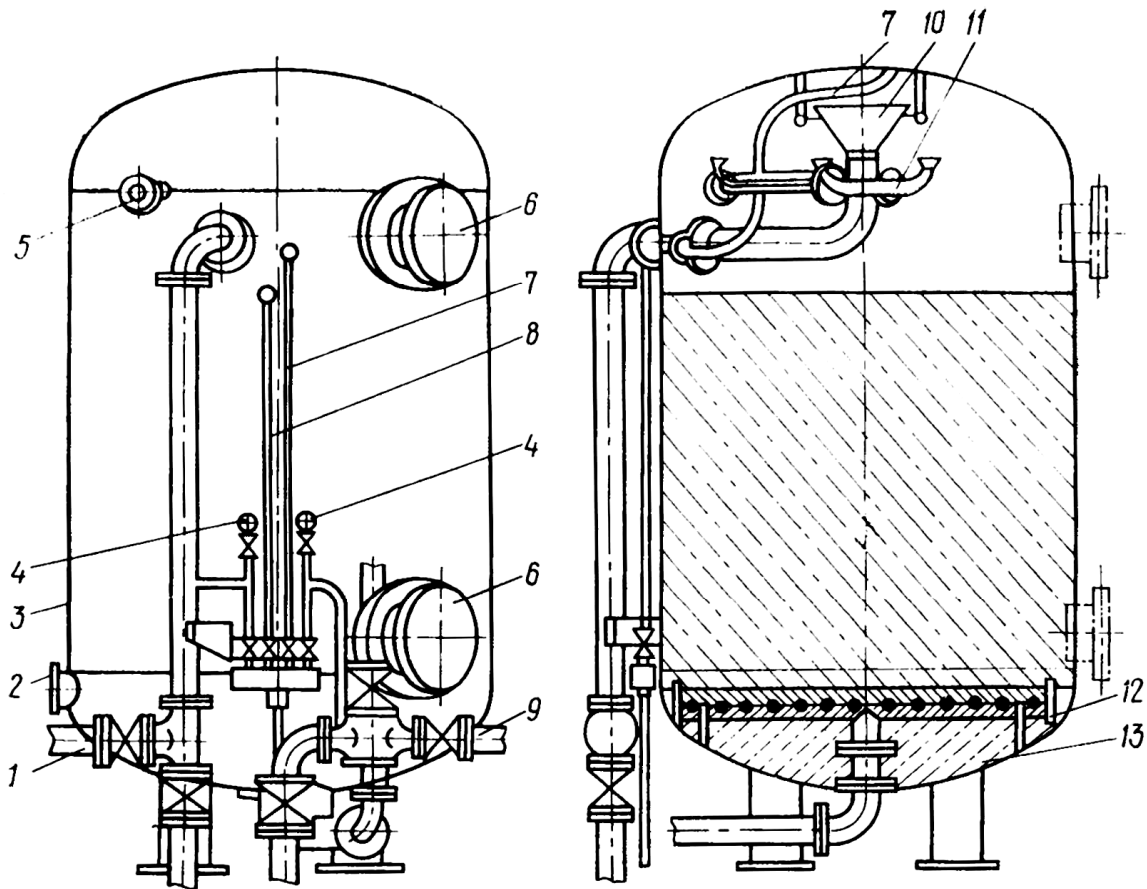


Рис. 14. Напорный катионитовый фильтр:

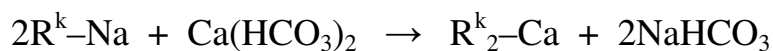
- 1 – подвод воды, подлежащей очистке; 2 – штуцер для гидроперегрузки катионита; 3 – цилиндрический корпус; 4 – манометры на пробоотборных трубках; 5 – подвод регенерационного раствора; 6 – люки; 7 – воздухоотводная трубка; 8 – трубка для отбора проб при взрыхлении; 9 – отвод очищенной воды; 10 – воронка для подвода воды; 11 – устройство для распределения регенерационного раствора; 12 – дренажное устройство; 13 – бетонная подушка.

Важным свойством ионитов является их способность к регенерации. Регенерация производится обработкой ионита определенным раствором (для катионита – обычно раствором сильной минеральной кислоты или ее соли, для анионита – раствором щелочи), в результате которой из ионита удаляются поглощенные им ионы и взамен их вводятся те ионы, которыми ионит был насыщен первоначально.

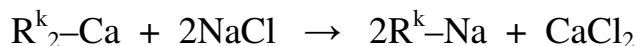
Использование ионитной очистки дает возможность широкого управления свойствами воды – общей степенью ее минерализации, содержанием определенных ионов, жесткостью. При этом ионообменные фильтры характеризуются малым потреблением энергии, что важно в современных экономических условиях.

Процессы умягчения и обессоливания воды методом ионного обмена представлены ниже:

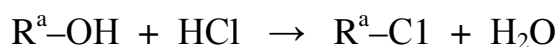
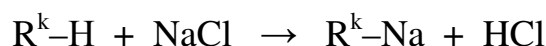
– умягчение



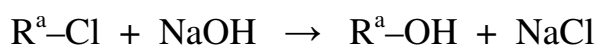
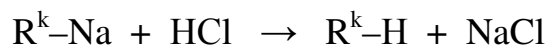
– регенерация катионита при умягчении



– обессоливание



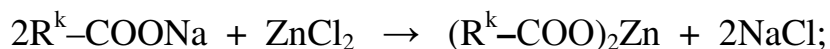
– регенерация катионита и анионита при обессоливании



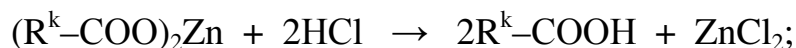
где  $R^k$  и  $R^a$  – соответственно части макромолекулы катионита и анионита, связанные с одной ионогенной группой.

Аналогично производится ионитная очистка воды от ионов тяжелых металлов. Это хорошо видно на примере ее очистки от ионов цинка, которые могут поступать со сточной водой от производства фибры. Для этого используются так называемые карбоксильные катиониты, в качестве активной группы содержащие карбоксильную, обычно в виде натриевой соли. Процесс очистки воды от ионов цинка и регенерации катионита можно выразить следующими уравнениями:

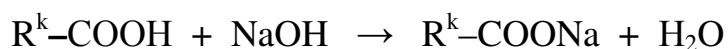
– извлечение ионов цинка из сточных вод:



– извлечение ионов цинка из катионита его обработкой 10%-ным раствором соляной кислоты:

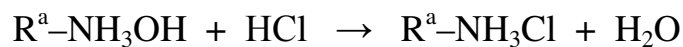
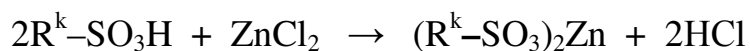


– перевод катионита в рабочую Na-форму обработкой 4%-ным раствором гидроксида натрия



Существует и другой вариант очистки воды от ионов цинка с возможностью ее полного обессоливания, заключающийся в последователь-

ном ее пропуске через Н-катионитовые фильтры с сульфокислотными или фосфорно-кислотными катионитами и ОН-анионитовые фильтры:



Использование ионитной очистки на современных предприятиях ЛПК, особенно с максимально замкнутым циклом водооборота, в настоящее время признано очень перспективным, поэтому непрерывно ведутся работы по совершенствованию данной технологии. Разрабатывается технология производства более дешевых и эффективных ионитов, производится поиск путей дальнейшего снижения расходов на эксплуатацию ионообменных установок и особенно – на регенерацию ионитов.

## Заключение

В условиях современного развития человечества, характеризующегося непрерывно увеличивающейся численностью населения Земли, возрастанием потребления различных видов продукции, совершенствование технологии очистки промышленных выбросов всё более актуально, так как эти выбросы непосредственно влияют на среду жизнедеятельности как самого человека, так и всей окружающей его живой природы. Ужесточение экологических законов является одной из главных особенностей экономического развития ведущих промышленных стран, и при отсутствии надлежащей технологии очистки промышленных выбросов это может привести к спаду производства, останову многих предприятий, дефициту продукции и безработице. Поэтому технологические мероприятия по очистке промышленных выбросов и утилизации производственных отходов в современных условиях представляется не менее важными, чем технология основного производства. Ни одно современное производство не проектируется и не работает без учета выбросов, которое оно дает, и способов их очистки и рекуперации.

Лесопромышленный комплекс – одна из ведущих и приоритетных отраслей мировой промышленности, и его роль будет неуклонно возрастать в связи с ограниченностью запасов ископаемого сырья. Предприятия ЛПК дают большое количество промышленных выбросов, но, как следует из материалов, приведенных в учебно-методическом пособии, при правильно выбранной технологии очистки данных выбросов их можно практически полностью обезвредить или вообще исключить. Таким образом, предприятия ЛПК в будущем могут стать экологически чистыми.

В связи с вышеперечисленным изучение дисциплины «Очистка и рекуперация промышленных выбросов» является необходимым условием подготовки специалистов по химической переработке древесины. Зная источники загрязнений на предприятиях ЛПК, особенности самих загрязнений, а также способы борьбы с ними, будущие специалисты смогут эффективно решать экологические проблемы, стоящие перед каждым предприятием ЛПК, благодаря чему у них появятся возможности совершенствовать технологию основного производства.

### Вопросы для самостоятельной работы

1. Какова цель очистки промышленных выбросов?
2. Какие существуют основные способы очистки воды?
3. Какая цель классификации сточных вод по содержанию загрязнений?
4. Какие существуют нормативные показатели загрязнения сточных вод?
5. Какие основные источники загрязнений на предприятиях ЛПК.
6. В чем особенности сточных вод от производства волокнистых полуфабрикатов?
7. В чем особенности сточных вод от производства целлюлозы?
8. В чем особенности сточных вод от переработки макулатуры?
9. Какие существуют меры борьбы с биологическими загрязнениями?
10. В чем особенности сточных вод от производства бумаги и картона?
11. В чем особенности сточных вод от лесохимических производств?
12. В чем особенности сточных вод от производства древесностружечных плит?
13. В чем особенности сточных вод от производства древесноволокнистых плит?
14. Как трансформируются загрязняющие вещества в природных водоемах?
15. Как влияют выбросы предприятий ЛПК на природные водоемы?
16. Как трансформируются углеводы древесины в природных водоемах?
17. Как трансформируются лигнины в природных водоемах?
18. Как трансформируются минеральные вещества в природных водоемах?
19. Какие существуют системы очистки сточной воды?
20. Что такое внеплощадные системы очистки воды?
21. Что такое внутриплощадные системы очистки воды?
22. Какова роль внутри- и внеплощадных систем очистки воды на предприятиях ЛПК?
23. Из каких узлов состоит общая схема очистки сточной воды?
24. Какова роль коагуляции в технологии очистки воды?
25. Какие коагулянты используются для очистки воды?
26. Какова роль флокуляции в технологии очистки воды?
27. Какие флокулянты используются для очистки воды?
28. Какие требования предъявляются к коагулянтам и флокулянтам для очистки воды?
29. В чем заключается механизм флокуляции?
30. Какие неорганические флокулянты используются для очистки воды?
31. Какие соединения кремния используются для очистки воды?
32. Какие соединения алюминия и других переходных металлов используются для очистки воды?
33. Какие производные фосфорной кислоты используют для очистки воды?



34. Какие органические флокулянты используют для очистки воды?
35. Зачем для очистки воды используются хелатные реагенты?
36. Какова цель окислительно-восстановительной обработки воды?
37. Какие реагенты используются для окислительно-восстановительной обработки воды?
38. Какие виды реагентов используются для очистки воды?
39. Какие основные виды оборудования используются для очистки воды?
40. Какова роль процесса отстаивания в технологии очистки воды?
41. Какие виды отстойников используются для очистки воды?
42. Какова роль процесса флотации в технологии очистки воды?
43. Каков принцип работы осветлителей?
44. Каков принцип работы сетчатых фильтров?
45. В чем состоят преимущества дисковые фильтров?
46. Каков принцип работы фильтров с загрузкой?
47. В чем состоит принцип умягчения воды с помощью ионного обмена?
48. Каков принцип обессоливания воды с помощью ионного обмена?
49. Каков принцип работы аэробных систем биологической очистки воды?
50. В чем состоит принцип работы анаэробных систем биологической очистки воды?
51. Какое оборудование используется для биологической очистки воды?

*Библиографический список*

1. Очистка и рекуперация промышленных выбросов. Учебник для вузов / В. Ф. Максимов и др. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 440 с.
2. Справочник по очистке природных и сточных вод / Л. Л. Пааль и др. – М.: Высшая школа, 1994. – 502 с.
3. Никитин, Я. В., Поляков, С. И. Использование воды на целлюлозно-бумажных предприятиях. – М. Лесная промышленность, 1985. – 230 с.
4. Романов, Г. А., Семенов, В. П. Механическая очистка сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий. – М.: Лесная промышленность, 1985. – 203 с.
5. Клячко, В. А., Апельцин, И. Э. Очистка природных вод. – М.: Стройиздат, 1971. – 580 с.
6. Калицун, В. И., Ласков, Ю. М. Лабораторный практикум по водоотведению и очистке сточных вод. Учебное пособие для вузов. – М.: Стройиздат, 1995. – 136 с.
7. Охрана окружающей среды от загрязнений промышленными выбросами ЦБП / Межвузовский сборник научных трудов. – Л.: Ленинградская лесотехническая академия, 1984. – 140 с.
8. Родионов, А. И., Клушин, В. Н., Торочешников, Н. С. Техника защиты окружающей среды. Учебник для вузов. – М.: Химия, 1989. – 340 с.
9. Пальгунов, П. П., Сумароков, М. В. Утилизация промышленных отходов. – М.: Стройиздат, 1990. – 250 с.
10. Оборудование и сооружения для защиты биосферы от промышленных выбросов. Учебное пособие для вузов / А. И. Родионов и др. – М.: Химия, 1985. – 128 с.
11. Мосягин, В. И. Проблемы экологизации лесного комплекса. – СПб.: ИПО ЛТА, 1999. – 210 с.

## *Оглавление*

Предисловие.....	3
Введение.....	4
<b>1. Характеристика сточных вод.....</b>	<b>5</b>
1.1. Классификация сточных вод по содержанию загрязнений.....	5
1.2. Нормирование показателей загрязнения сточных вод.....	6
1.3. Источники загрязнений на различных производствах предприятий ЛПК.....	6
1.3.1. Производство волокнистых полуфабрикатов.....	6
1.3.2. Производство бумаги и картона.....	10
1.3.2. Лесохимические производства.....	11
1.3.3. Гидролизные производства.....	12
1.3.4. Производство древесностружечных плит (ДСП).....	12
1.3.5. Производство древесноволокнистых плит (ДВП).....	13
1.4. Трансформация загрязняющих веществ в природных водоемах.....	14
<b>2. Способы очистки воды.....</b>	<b>17</b>
2.1. Классификация способов очистки воды.....	17
2.2. Системы очистки сточной воды.....	18
2.3. Реагентная очистка воды.....	20
2.3.1. Очистка воды с помощью коагулянтов.....	21
2.3.2. Очистка воды с помощью флокулянтов.....	23
2.3.3. Виды флокулянтов.....	24
2.3.4. Хелатные агенты.....	29

2.3.5. Окислительно-восстановительная обработка воды.....	30
<b>3. Оборудование для механической очистки воды.....</b>	<b>33</b>
3.1. Отстойники.....	33
3.2. Флотаторы.....	37
3.3. Осветлители.....	41
3.4. Сетчатые фильтры.....	42
3.5. Фильтры с загрузкой.....	45
<b>4. Биологическая очистка воды.....</b>	<b>46</b>
4.1. Аэробная очистка воды.....	46
4.2. Анаэробная очистка воды.....	48
<b>5. Очистка воды методом ионного обмена.....</b>	<b>50</b>
Заключение.....	55
Вопросы для самостоятельной работы.....	56
Библиографический список.....	58