

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

А.И. БАЙТЕЛОВА, М.Ю. ГАРИЦКАЯ

# ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

Часть 1

Рекомендовано Ученым советом государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по специальности «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов»

Оренбург 2007

УДК 502.1 (075.8)  
ББК 20.1 я73  
Б 18

Рецензент  
кандидат технических наук, доцент В.И. Федорченко

Б 18            **Байтелова А.И.,**  
**Промышленная экология: учебное пособие / А.И. Байтелова,**  
**М.Ю. Гарицкая / – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2007.- 143 с.**

**ISBN.....**

В пособии рассмотрены основные методы очистки сточных вод от примесей различного происхождения, способы переработки и утилизации отходов производства и потребления, создание малоотходных, безотходных или чистых производств, формирование и развитие безотходных ТПК и эколого-промышленных парков.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по специальности 320700, при изучении дисциплины “Промышленная экология”

ББК 22.3 я7

Д 1903040000

ISBN...

© Байтелова А.И., 2007  
Гарицкая М.Ю.  
© ГОУ ОГУ, 2007

## Содержание

Введение.....	5
1 Введение в промышленную экологию.....	6
2 Рациональное использование воды.....	6
2.1 Водный баланс. Ресурсы пресной воды. Основные системы и проблемы водоснабжения и водоотведения промышленных предприятий.....	6
2.2 Классификация вод по целевому назначению .....	8
2.3 Обратное водоснабжение.....	9
2.4 Состав и свойства сточных вод. Пути уменьшения степени загрязнения и объема сточных вод.....	11
2.5 Контрольные вопросы.....	14
3 Очистка сточных вод .....	15
3.1 Основные способы очистки сточных вод, их физико-химическое обоснование, достоинства и недостатки.....	15
3.2 Очистка сточных вод от твердых веществ и эмульсий. (механические методы очистки).....	16
3.3 Физико-химические методы очистки сточных вод.....	29
3.4 Использование сорбционных методов очистки природных и сточных вод, выделение ценных компонентов. Опреснение воды.....	37
3.5 Реагентные методы очистки сточных вод.....	46
3.6 Десорбция, дезодорация и дегазация сточных вод.....	49
3.7 Электрохимические методы очистки сточных вод.....	53
3.8 Мембранные методы очистки сточных вод. Обратный осмос и ультрафильтрация.....	58
3.9 Очистка сточных вод, основанная на фазовых переходах.....	62
3.10 Химические методы очистки сточных вод.....	66
3.11 Биохимические методы очистки сточных вод.....	73
3.12 Основные способы утилизации и обработки осадков.....	86
3.13 Контрольные вопросы.....	92
4 Переработка и утилизация отходов производства и потребления...	93
4.1 Классификация отходов. Вторичные материальные ресурсы.....	93
4.2 Общие и специальные методы переработки твердых отходов.....	95
4.3 Сбор, переработка, обезвреживание и утилизация твердых бытовых отходов.....	109
4.4 Характеристика полигонов как природоохранных сооружений.....	111
4.5 Технология складирования ТБО на полигонах (санитарных свалках).....	113
4.6 Характеристика класса опасности почв в зависимости от степени загрязнения.....	114
4.7 Технологическая схема работы полигона.....	115

4.8	Классификация методов термической переработки ТБО.....	116
4.9	Обезвреживание, переработка и захоронение токсичных отходов...	118
4.10	Условия сжигания и дожигания токсичных органических отходов.	120
4.11	Обезвреживание, переработка и захоронение радиоактивных отходов.....	121
4.12	Аэробное компостирование твердых бытовых отходов в промышленных условиях.....	123
4.13	Охрана окружающей среды при эксплуатации мусоросжигательных заводов.....	125
4.14	Очистка дымовых газов на МСЗ.....	127
4.15	Утилизация золошлаковых отходов на МСЗ.....	128
4.16	Сжигание ТБО с целью получения тепловой и других видов энергии.....	129
4.17	Комплексная переработка твердых бытовых и промышленных отходов.....	130
4.18	Контрольные вопросы.....	132
5	Формирование и развитие безотходных ТПК и эколого-промышленных парков.....	133
5.1	Территориально-промышленные комплексы.....	133
5.2	Промышленные экосистемы и эко-промышленные парки.....	135
5.3	Промышленные экосистемы.....	136
5.4	Эко-промышленные парки.....	136
5.5	Перспективы и основные этапы решения проблемы рационального природопользования.....	137
5.6	Контрольные вопросы.....	137
6	Создание экологически обоснованных производств на базе комплексной переработки основных видов сырья.....	138
6.1	Создание малоотходных, безотходных или чистых производств....	138
6.2	Учет нормирования нагрузки на окружающую среду при организации безотходного и малоотходного производств.....	140
6.3	Контрольные вопросы.....	141
	Заключение.....	141
	Список использованных источников .....	143

## Введение

В настоящее время современные достижения научно-технического прогресса, с одной стороны, способствуют удовлетворению всевозрастающих потребностей общества в целом и каждого индивида в отдельности, с другой стороны, заведомо отрицательно воздействуют на процессы, протекающие в биосфере, ведут к нарушению ее стабильности. Поэтому, в экологическом аспекте особо важно определить пути распространения выбросов, сбросов и отходов производства в биосфере, выявить их долю в общем круговороте веществ, оценить качественные и количественные изменения, происходящие в природных объектах, провести экспертную оценку воздействия различных технологий на окружающую среду и выбрать наиболее целесообразные технологии с этих точек зрения.

Особая роль в решении этих задач принадлежит промышленной экологии, которая определяет интенсивность взаимодействия техногенной системы с окружающей природной средой, степень его рациональности и комплексности и используя социальные методы, представляет собой сложную научно-техническую информацию о состоянии природно-промышленной системы, ее границах, степени влияния на природную среду и перспективах ее развития. Таким образом, промышленная экология рассматривает (изучает) взаимосвязь (и взаимозависимость) материального, в первую очередь промышленного, производства, человека и других живых организмов со средой их обитания, т.е. предметом изучения промышленной экологии являются эколого-экономические системы.

Методической основой курса промышленной экологии является научный анализ экологической характеристики производства (технологического процесса, аппаратного оформления, сырьевых и вспомогательных материалов, их возможного воздействия на окружающую среду). На основе детального анализа проводится оценка реального воздействия производства (производственных комплексов) на биосферу, дается прогноз состояния окружающей среды и разрабатываются мероприятия по минимизации влияния объектов хозяйственной деятельности на природу.

Главная задача дисциплины “Промышленная экология” заключается в формировании экологического мировоззрения будущих специалистов, которое позволит им профессионально анализировать и оценивать собственную производственную деятельность в отношении к окружающей природной среде и принимать экологически обоснованные решения. Изучение дисциплины должно содействовать овладению учащимися комплексом специальных знаний, связанных с биосферой, экосистемой, техносферой, ноосферой, экономикой природопользования, комплексным и рациональным использованием природных ресурсов и экологическим правом.

Настоящее учебное пособие предназначено студентам специальности 32.07.00 «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов».

# 1 Введение в промышленную экологию

**Промышленная экология** – это научная основа рационального природопользования. **Промышленная экология** – наука, изучающая взаимосвязь производства со средой обитания человека и живых организмов.

**Предметом** изучения промышленной экологии являются эколого-экономические системы.

**Цели промышленной экологии:**

- контроль и решение проблем рационального использования природных ресурсов;
- предотвращение загрязнения окружающей природной среды;
- совмещение техногенного и биогеохимического круговорота веществ.

**Задачи промышленной экологии:**

- мониторинг – как высшая форма наблюдений за состоянием окружающей среды;
- анализ экологических ситуаций;
- определение основных промышленных отраслей–загрязнителей и источников загрязнения;
- прогнозирование хозяйственной деятельности человека;
- экологизация технологических процессов;
- очистка сточных вод и атмосферы;
- региональные проблемы захоронения и переработки твердых отходов;
- эколого-экономическая экспертиза технических решений.

## 2 Рациональное использование воды

### 2.1 Водный баланс. Ресурсы пресной воды. Основные системы и проблемы водоснабжения и водоотведения промышленных предприятий

Водные ресурсы – запасы подземных и наземных вод на конкретной территории за определенный промежуток времени. Водные ресурсы подразделяются на 2 группы: доступные – технически и экономически возможные к использованию (озера, реки) и недоступные по техническим и экономическим причинам.

Природная вода – вода, которая качественно и количественно формируется под влиянием или действием естественных процессов при отсутствии антропогенного воздействия, и ее качественные показатели находятся на естественном среднем многолетнем уровне.

Природная вода по степени минерализованности делится на:

- пресные воды (содержание солей меньше 1 г/л);
- солончатые (1-10 г/л);
- солёные (10-50 г/л);
- рассолы (больше 50 г/л).

В свою очередь пресные воды делятся на:

- воды малой минерализованности (содержание солей 200 мг/л);
- воды средней минерализованности (содержание солей 200-500 мг/л);
- воды повышенной минерализованности (содержание солей 500-1000 мг/л).

Кроме этого по преобладающему аниону (кислотному остатку) природные воды делятся на:

- сульфатные;
- хлоридные;
- гидрокарбонатные.

Природные воды характеризуются жесткостью (содержание в воде катионов кальция и магния). Различают карбонатную (связана с присутствием в воде бикарбонатов кальция и магния), некарбонатную (сульфатов, хлоридов, нитратов кальция и магния) и общую жесткости (сумма карбонатной и некарбонатной).

Качество природной воды – совокупность физических, химических, биологических и бактериологических показателей, обуславливающих ее пригодность для использования в промышленном производстве. Выделяют следующие тенденции в изменении качества природной воды:

- снижение рН пресных вод в результате их загрязнения серной и азотной кислотами из атмосферы, увеличение содержания в них сульфатов и нитратов;
- повышение содержания ионов кальция, магния, кремния в подземных и речных водах вследствие вымывания и растворения подкисленными дождевыми водами карбонатных и других горных пород;
- повышение содержания в природных водах ионов тяжелых металлов, прежде всего свинца, кадмия, ртути, мышьяка и цинка, а также фосфатов ( $>0,1$  мг/л), нитратов и нитритов;
- повышение содержания солей в поверхностных и подземных водах в результате их поступления со сточными водами, из атмосферы и за счет смыва твердых отходов (например, солесодержание многих рек ежегодно повышается на 30-50 мг/л и более, из 1000 т городских отходов в грунтовые воды попадает до 8 т растворимых солей);
- повышение содержания в водах органических соединений, прежде всего биологически стойких (ПАВ, пестицидов, продуктов их распада и других токсичных, канцерогенных и мутагенных веществ);
- снижение содержания кислорода в природных водах, прежде всего в результате повышения его расхода на окислительные процессы, связанные с эвтрофикацией водоемов, с минерализацией органических соединений, а также вследствие загрязнения поверхности водоемов гидрофобными веществами и сокращения доступа кислорода из атмосферы (в отсутствие кислорода в воде развиваются восстановительные процессы, в частности сульфаты восстанавливаются до сероводорода);
- снижение прозрачности воды в водоемах (в загрязненных водах размножаются вирусы и бактерии, возбудители инфекционных заболеваний);

-загрязнение природных вод радиоактивными изотопами химических элементов.

Природная вода, подвергаемая антропогенному загрязнению, называется денатурированной или природно-антропогенной. Использование воды происходит двумя путями:

-без изъятия воды из источника;

-с изъятием (орошение).

Водоснабжение – совокупность мероприятий по обеспечению водой потребителей для бытовых, промышленных и других нужд.

Водопользование – порядок, условия и формы использования водных объектов для удовлетворения нужд населения и народного хозяйства. Водопользование подразделяется на бытовое и промышленное. Наибольшее количество пресной воды используется для бытового водопользования.

## 2.2 Классификация вод по целевому назначению

Воду, используемую в промышленности, подразделяют на охлаждающую, технологическую и энергетическую, в соответствии с рисунком 1.

Вода часто служит для охлаждения жидких и газообразных продуктов в теплообменных аппаратах. В этом случае она не соприкасается с материальными потоками и не загрязняется, а лишь нагревается. В промышленности 65-80 % расхода воды потребляется для охлаждения. Охлаждающая вода может быть оборотной и добавочной.

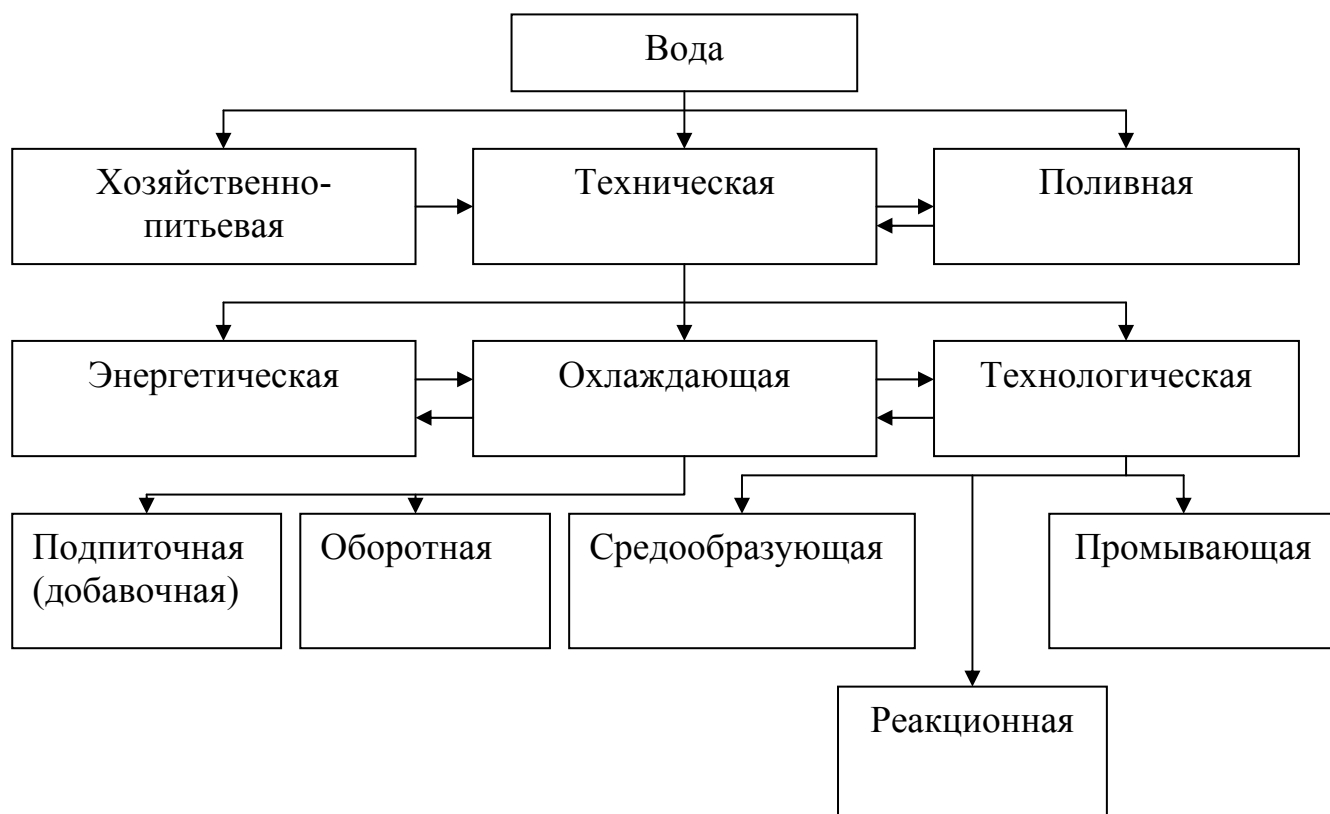


Рисунок 1- Классификация вод по целевому назначению.



Технологическая вода непосредственно контактирует с продуктами и изделиями. Технологическую воду подразделяют на средообразующую, промывающую и реакционную.

Средообразующую воду используют для растворения и образования пульп, при обогащении к переработке руд, гидротранспорте продуктов и отходов производства. Промывающую - для промывки газообразных (абсорбция), жидких (экстракция) и твердых продуктов и изделий, реакционную - в составе реагентов.

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

### **2.3 Обратное водоснабжение**

Водопотребление – потребление воды из водного объекта или систем водоснабжения. Выделяют 3 системы водоснабжения:

1) прямоточная – система промышленного водоснабжения с однократным использованием воды потребителем с последующим ее сбросом из системы;

2) прямоточная система с последовательным использованием воды – система последовательного многократного использования воды со сбросом ее из системы;

3) замкнутая система водоснабжения и водоотведения (система оборотного водоснабжения) - система, в которой вода используется в производстве многократно без очистки или после соответствующей обработки, исключающей образование каких-либо отходов и сброс сточных вод в водоем.

Под замкнутой системой водного хозяйства территориально-промышленного комплекса, района или центра понимается система, включающая использование поверхностных вод, очищенных промышленных и городских сточных вод на промышленных предприятиях, на сельскохозяйственных полях орошения при выращивании сельскохозяйственных культур, для полива лесных угодий, для поддержания объема (уровня) воды водоемов, исключающие образование каких-либо отходов и сброс сточных вод в водоем.

Подпитка замкнутых систем свежей водой допускается в случае, если очищенные сточные вод недостаточно для восполнения потерь воды в этих системах, допускается также расход ее в технологических операциях, в которых очищенные сточные воды не могут быть использованы по условиям технологии или гигиены. Свежая вода расходуется только для питьевых и хозяйственно-бытовых целей.

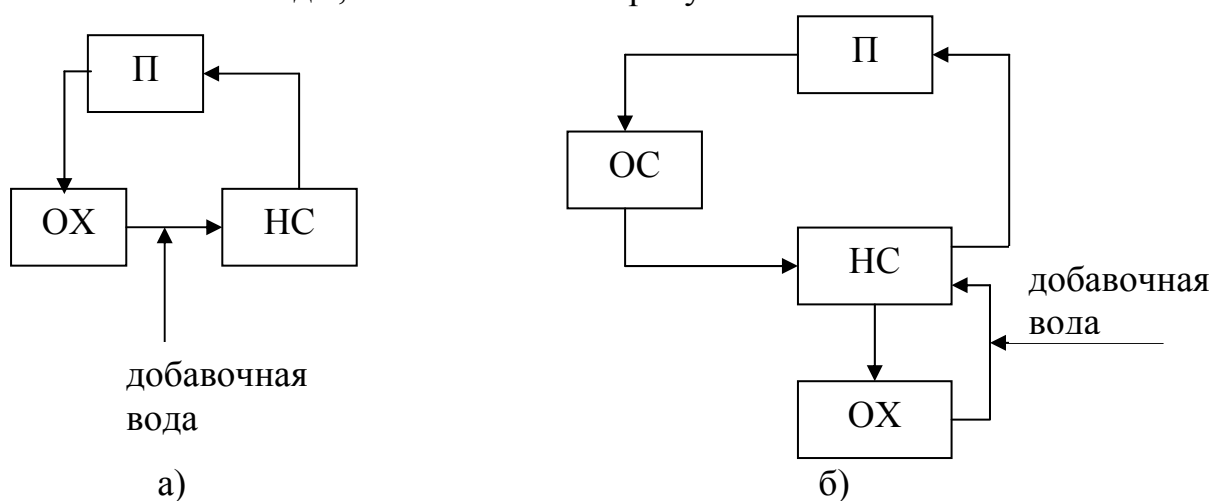
Система оборотного водоснабжения может быть технологической и охлаждающей. Технологическая система оборотного водоснабжения представляет собой систему, в которой вода используется в качестве растворителя экстрагента и продуктов, транспортирующей среды, то есть вступает непосредственно в контакт с продуктами и загрязняется ими.

Охлаждающая система оборотного водоснабжения представляет собой систему, в которой вода используется в качестве хладагента для охлаждения или конденсации жидких или газообразных продуктов. Подразделяется на открытую и закрытую.

Открытая охлаждающая система оборотного водоснабжения – система, в которой вода выступает в качестве хладагента с последующим охлаждением в прудах-охладителях, брызгательных бассейнах, где вступает в непосредственный контакт с атмосферным воздухом.

Закрытая охлаждающая система оборотного водоснабжения – система, в которой вода выступает в качестве хладагента с последующим охлаждением в холодильных машинах.

При оборотном водоснабжении следует предусмотреть необходимую очистку сточной воды, охлаждение оборотной воды, обработку и повторное использование сточной воды, в соответствии с рисунком 2.



П - производство; НС - насосная станция; ОХ- охлаждение воды; ОС - очистка сточной воды.

а - с охлаждением воды; б – с очисткой и охлаждением воды;

Рисунок 2 - Схемы оборотного водоснабжения.

В схеме «а» вода является теплоносителем и в процессе использования не загрязняется, а нагревается, перед повторным использованием ее охлаждают в градирнях или прудах. В схеме «б» воду очищают и охлаждают. Во всех случаях свежая вода добавляется лишь на восполнение потерь.

Применение оборотного водоснабжения позволяет в 10 - 50 раз уменьшить потребление природной воды.

Эффективность использования воды в производстве оценивается рядом показателей:

-процент оборота воды:

$$P_{об} = Q_{об} / (Q_{об} + Q_u);$$

-коэффициент использования воды:

$$K_n = (Q_u - Q_{сб}) / Q_u \leq 1;$$

-кратность использования воды:

$$n = (Q_{сб} + Q_u + Q_c) / (Q_u + Q_c) \geq 1,$$

-безвозвратное потребление воды и ее потери в производстве (в %):

$$K_{\Pi} = (Q_u - Q_{сб}) / (Q_{сб} + Q_u) \cdot 100$$

где  $Q_{об}$  - количество оборотной воды, м<sup>3</sup>/ч;

$Q_u$  - количество воды, забираемое из источника водоснабжения, м<sup>3</sup>/ч;

$Q_{сб}$  - количество воды, сбрасываемое предприятием, м<sup>3</sup>/ч;

$Q_c$  - поступление воды из сырья, м<sup>3</sup>/ч.

Оборотная вода должна соответствовать определенным значениям показателей: карбонатной жесткости, рН, содержанию взвешенных веществ и биогенных элементов, значению ХПК (химическая потребность в кислороде).

Для предотвращения коррозии и биологического обрастания часть оборотной воды выводят из системы (продувочная вода), добавляя свежую воду из источника или очищенные сточные воды.

При движении воды на поверхностях труб откладывается карбонат кальция. Растворимость карбоната кальция с ростом температуры уменьшается. Скорость отложения карбоната кальция и других солей не должна превышать 0,25 г/(м<sup>2</sup>·ч). Основным требованием к воде, расходуемой на подпитку оборотных систем, является ограничение и карбонатной и сульфатной жесткости. Ограничивается также содержание взвешенных веществ, которые тоже отлагаются на отдельных участках трубопроводов.

Для предотвращения биологического обрастания аппаратов и сооружений в оборотной воде должно быть также ограничено содержание органических веществ и соединений биогенных элементов (азота и фосфора), являющихся питательной средой для микроорганизмов. Скорость биологических обрастаний труб не должна превышать 0,07 г/(м<sup>2</sup>·ч), рост толщины слоя не должен быть выше 0,05 мм в месяц.

## **2.4 Состав и свойства сточных вод. Пути уменьшения степени загрязнения и объема сточных вод**

Загрязнение водных ресурсов возникает при залповом сбросе вредных веществ в поверхностные и подземные водные объекты, который причиняет вред или создает угрозу здоровью населения, нормальному осуществлению хозяйственной и иной деятельности, состоянию окружающей природной среды, а также биологическому разнообразию.

Объект, вносящий в поверхностные или подземные воды различные вредные вещества, микроорганизмы или тепло, называется источником загрязнения. Источниками загрязнения также признаются объекты, с которых осуществляется сброс или иное поступление в водные объекты вредных

веществ, ухудшающих качество поверхностных вод, ограничивающих их использование, а также негативно влияющих на состояние дна и береговых водных объектов. Подавляющее большинство источников загрязнения гидросферы - техногенного происхождения. Среди них доминируют сбросы в водоемы сточных вод субъектами природопользования (предприятиями промышленности, коммунальными и сельскохозяйственными).

Источники загрязнения природных вод подразделяются на:

1) сточные воды промышленных предприятий объемом несколько тыс.км<sup>3</sup> в год. При разработке пластовых месторождений в нашей стране каждый год образуется около 2,5 тыс.км<sup>3</sup> дренажных шахтных и шламовых вод, которые загрязнены хлористыми и сульфатными соединениями, соединениями железа и меди, не годятся даже в качестве технической воды и перед сбросом должны быть очищены;

2) городские сточные воды, содержащие растворимые органические вещества, микроорганизмы, взвешенные частицы. Всего в стране за год образуется около 100 км<sup>3</sup> таких вод;

3) канализационные воды животноводческих хозяйств;

4) дождевые и талые воды с растворёнными химическими веществами, образующиеся в городах и на полях;

5) водный транспорт;

6) естественные осадки из атмосферы;

7) газодымовые выбросы;

8) утечки нефти и нефтепродукты.

Под загрязняющим агентом водного бассейна понимают материальные субстанции (химические соединения, микроорганизмы, тепло), нарушающие нормы качества воды.

В зависимости от влияния на водную среду выделяют следующие группы загрязняющих веществ:

-загрязняющие вещества, способные самоочищаться или включаться в природные циклы, т.е., вещества, поддающиеся биохимическому разложению (органические вещества);

-загрязняющие вещества, накапливающиеся в живых организмах и поддающиеся медленному биохимическому окислению или разложению (фенолы, цианиды, ПАВ);

-загрязняющие вещества, имеющие ярко выраженную токсичность, способные накапливаться в живых организмах и переходить от одного трофического уровня к другому (тяжелые металлы, пестициды, органические растворители);

-патогенные организмы, вирусы, микробы и т.д.

Сбросами называют сточные воды, содержащие в своем составе растворенные и взвешенные вещества, отводимые в гидросферу или литосферу. Сбросы подразделяются на организованные (отводятся через специальные сооружения водовыпуски) и неорганизованные (стекают в водные объекты непосредственно с территории предприятий, необорудованных ливневыми канализациями или другими устройствами).

Сточные воды – воды, используемые на бытовые, производственные или другие нужды и загрязненные различными примесями, которые изменили их первоначальный состав, физические и биологические свойства, а также воды, стекающие с территории населенных пунктов и промышленных предприятий в результате выпадения атмосферных осадков или полива территории. В состав сточных вод входят минеральные вещества (глина, песок, хлориды, сульфаты и соли тяжелых металлов), органические вещества (белок, жиры, нефтепродукты, СМС и ПАВ) и биогенные элементы (соединения азота и фосфора). Все вышеперечисленные вещества могут находиться в грубодисперсном, коллоидном и растворенном состояниях. В грубодисперсном состоянии находятся от 15-20 % загрязнителей, в коллоидном - от 50 до 60 %, все остальные - в растворенном виде. Все сточные воды по источнику образования могут быть разделены на производственные, бытовые и атмосферные.

1 К производственным относят сточные воды технологических процессов изготовления и перемещения материальных благ. Промышленные сточные воды представляют собой жидкие отходы, которые возникают при добыче и переработке органического и неорганического сырья. В технологических процессах источниками сточных вод являются:

а) воды, образующиеся при протекании химических реакций (они загрязнены исходными веществами и продуктами реакций);

б) воды, находящиеся в виде свободной и связанной влаги в сырье и исходных продуктах, выделяющиеся в процессах переработки;

в) промывные воды после промывки сырья, продуктов и оборудования;

г) маточные водные растворы;

д) водные экстракты и абсорбенты;

е) воды охлаждения;

ж) воды с вакуум-насосов, конденсаторов смешения, систем гидрозолоудаления, после мытья тары, оборудования и помещений;

2 В бытовые входят стоки от санитарных узлов, душевых и им подобных установок технологических производств, все стоки предприятий сферы услуг, коммунального хозяйства и жилищного фонда. Они содержат примеси, из которых примерно 58 % органических и 42 % минеральных веществ.

3 Атмосферные стоки представлены потоками дождя и тающего снега. Они загрязняются органическими и минеральными веществами.

В зависимости от происхождения и степени загрязнения сточные воды, сбрасываемые в водоем, делят на незагрязненные (условно чистые), нормативно очищенные и без очистки (загрязненные).

1 К условно чистым относят такие стоки, которые не приводят к изменениям физико-химического состава водоема в месте сброса (образуются после вентиляционных установок и охлаждения оборудования). Они не требуют предварительной очистки (от 6 до 18 %).

2 Нормативно очищенными называют прошедшие очистку стоки, сброс которых не приводит к изменению качества воды в водоеме. Содержание

загрязняющих веществ в них соответствует предельно допустимым концентрациям (7-9 %).

3 К загрязненным относят стоки, сброшенные без очистки или недостаточно очищенные, содержащие загрязняющие вещества выше предельно допустимых норм (смесь отработанных жидкостей после технологического процесса, а также после мытья оборудования – от 70 до 80 %).

По генезису примесей стоки классифицируют на загрязненные преимущественно неорганическими (металлургические и цементные заводы, предприятия химической промышленности), органическими (нефтехимия, органический синтез), смешанными, т.е. органическими и неорганическими (нефте- и газодобыча) примесями, а также микроорганизмами (бактериями, вирусами), наиболее характерными для биохимических и биологических процессов.

По концентрации загрязняющих веществ производственные сточные воды подразделяют на четыре группы: I — 500, II — 501-5000, III - 5001-30000, IV - более 30 тыс. мг/л.

По степени агрессивности различают неагрессивные (рН=6,5-8,0), слабоагрессивные (рН=6,0-6,5 и 8-9) и сильноагрессивные (рН менее 6 и более 9) стоки. Это деление совпадает с представлениями соответственно о нейтральных, слабокислых и слабощелочных, сильнокислых и сильнощелочных средах.

Имеется несколько путей уменьшения количества загрязненных сточных вод, среди них следующие:

- 1) разработка и внедрение безводных технологических процессов;
- 2) усовершенствование существующих процессов;
- 3) разработка и внедрение совершенного оборудования;
- 4) внедрение аппаратов воздушного охлаждения;
- 5) повторное использование очищенных сточных вод в оборотных и замкнутых системах.

## **2.5 Контрольные вопросы**

1.Какие вещества в наибольшей степени загрязняют поверхностные воды?

2.Чем обусловлена необходимость создания замкнутых систем производственного водоснабжения?

3.Какие основные принципы создания замкнутых водооборотных систем?

4.Какие требования должны быть предъявлены к качеству воды, используемой во всех технологических процессах и операциях?

### 3 Очистка сточных вод

#### 3.1 Основные способы очистки сточных вод, их физико-химическое обоснование, достоинства и недостатки

Для создания замкнутых систем водоснабжения промышленные сточные воды подвергаются очистке механическими, химическими, физико-химическими, биологическими и термическими методами до необходимого качества, зависящего от вида производства.

Указанные методы очистки подразделяются на рекуперационные и деструктивные. Рекуперационные методы предусматривают извлечение из сточных вод и дальнейшую переработку всех ценных веществ. В деструктивных методах вещества, загрязняющие воду, подвергаются разрушению путем окисления или восстановления. Продукты разрушения удаляются из воды в виде газов или осадков.

Выбор метода очистки и конструктивное оформление процесса производятся с учетом следующих факторов:

1) санитарных и технологических требований, предъявляемых к качеству очищенных вод с учетом дальнейшего их использования;

2) количества сточных вод;

3) наличия у предприятия необходимых для процесса обезвреживания энергетических и материальных ресурсов (пар, топливо, сжатый воздух, электроэнергия, реагенты, сорбенты, а также необходимой площади для сооружения очистных установок);

4) эффективности процесса обезвреживания.

Эффективность очистки сточных вод определяется по формуле:

$$\eta = \frac{G_n - G_k}{G_n} \cdot 100$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_k \cdot C_k}{Q_n \cdot C_n}$$

где  $G_n$  - массовый расход загрязняющего вещества в сточных водах до очистки, кг/с;

$G_k$  - массовый расход загрязняющего вещества в сточных водах после очистки, кг/с;

$Q_n$  - объем сточных вод до очистки, м<sup>3</sup>/с;

$Q_k$  - объем сточных вод после очистки, м<sup>3</sup>/с.

Если  $Q_n = Q_k$ , то

$$\eta = \frac{C_n - C_k}{C_n},$$

где  $C_n, C_k$  - концентрация примесей в сточной воде до и после очистки.

Если используется несколько методов очистки, то общая эффективность определяется по формуле:

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

Для оценки санитарной эффективности метода очистки сточных вод используется показатель контроля биосферы:

$$KB = \frac{C_k}{ПДК_g}$$

Санитарная эффективность определяется по формуле :

$$СЭ_g = \frac{\eta}{KB} = \frac{\eta \cdot ПДК_B}{C_k}$$

Очистка сточных вод от загрязняющих веществ осуществляется с помощью следующих методов в соответствии с рисунком 3.

### **3.2 Очистка сточных вод от твердых веществ и эмульсий (механические методы очистки)**

Промышленные и бытовые сточные воды содержат взвешенные частицы растворимых и нерастворимых веществ. Взвешенные примеси подразделяются на твердые и жидкие, образующие с водой дисперсную систему. В зависимости от размера частиц дисперсные системы делят на три группы:

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

Для удаления взвешенных частиц из сточных вод используют гидромеханические процессы (периодические и непрерывные) процеживания, отстаивания (гравитационное и центробежное) и фильтрования. Выбор метода зависит от размера частиц примесей, физико-химических свойств и концентрации взвешенных частиц, расхода сточных вод и необходимой степени очистки.

#### **3.2.1 Процеживание и отстаивание**

##### **3.2.1.1 Процеживание**

Перед более тонкой очисткой сточные воды процеживают через решетки и сита, которые устанавливают перед отстойниками с целью извлечения из них крупных примесей, которые могут засорить трубы и каналы.

Решетки могут быть неподвижными, подвижными, а также совмещенными с дробилками (комминаторы). Наибольшее распространение имеют неподвижные решетки.



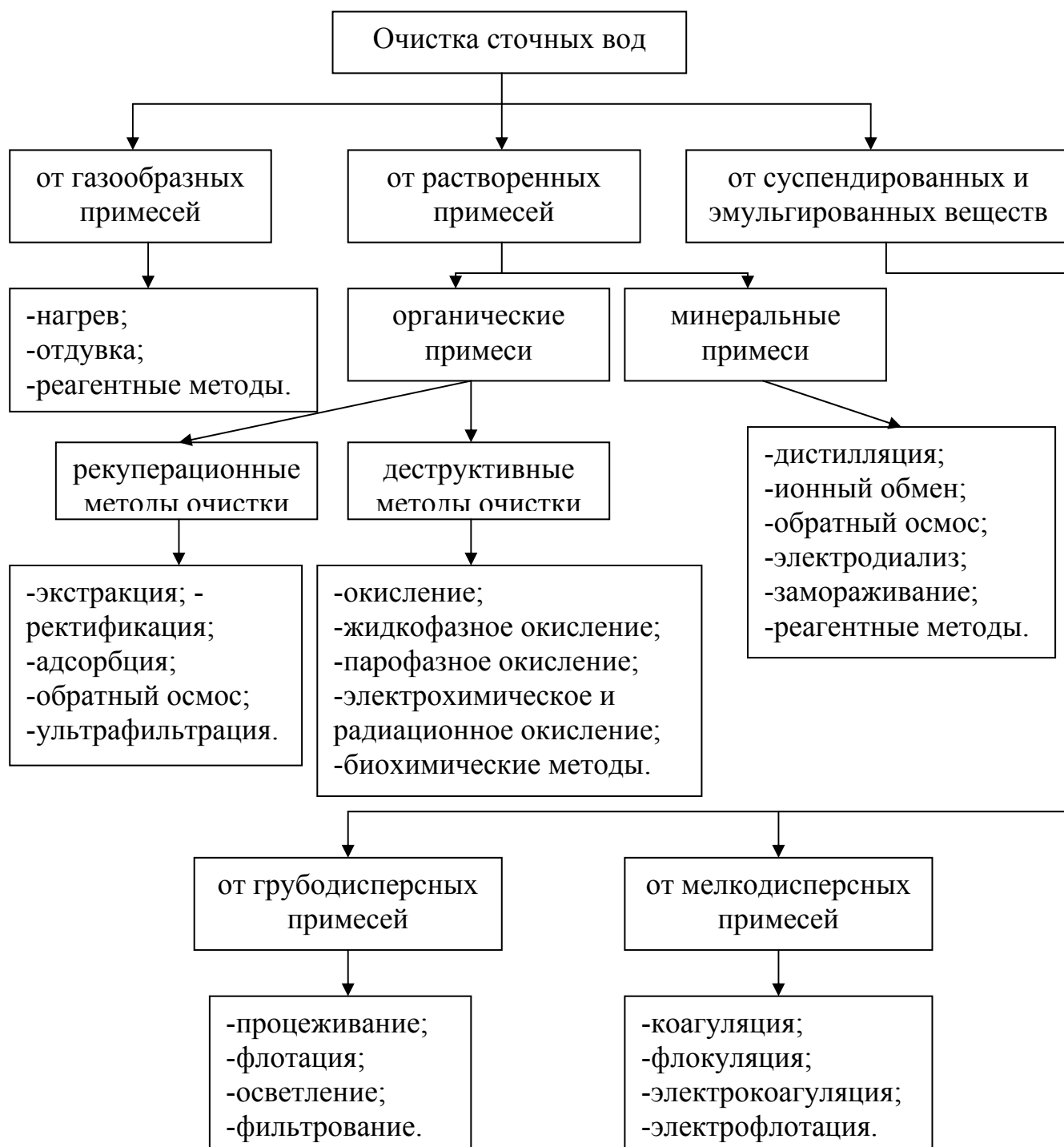


Рисунок 3 – Методы очистки сточных вод от загрязняющих веществ.

Решетки изготовляют из металлических стержней и устанавливают на пути движения сточных вод под углом 60-75°. Стержни могут иметь круглое или прямоугольное сечение. Стержни с круглым сечением имеют меньшее сопротивление, но быстрее засоряются, поэтому чаще используют прямоугольные стержни, закругленные со стороны входа воды в решетку. Решетки очищают граблями. Снятые с решеток загрязнения направляют на переработку. Для измельчения отходов используют дробилки.

Для удаления более мелких взвешенных веществ, а также ценных продуктов, применяют сита, которые могут быть двух типов: барабанные или дисковые. Сито барабанного типа представляет собой сетчатый барабан с отверстиями 0,5-1 мм. При вращении барабана сточная вода фильтруется через его внешнюю или внутреннюю поверхность в зависимости от подвода воды снаружи или внутрь. Задерживаемые примеси смываются с сетки водой и отводятся в желоб. Производительность сита зависит от диаметра барабана и его длины, а также от свойств примесей. Сита применяют в текстильной, целлюлозно-бумажной и кожевенной промышленности.

Для разделения взвешенных частиц на фракции могут быть использованы фракционаторы, основной частью которых является вертикальная сетка, разделяющая емкость на две части. Диаметр отверстий сетки 60-100 мкм. Сточная вода через сопло поступает внутрь фракционатора и делится на грубую и тонкую фракции. При разделении 50-80 % взвешенных частиц остается в грубой фракции.

#### 3.2.1.2 Отстаивание

Отстаивание применяют для осаждения из сточных вод грубодисперсных примесей. Осаждение происходит под действием силы тяжести. Для проведения процесса используют песколовки, отстойники и осветлители. В осветлителях одновременно с отстаиванием происходит фильтрация сточных вод через слой взвешенных частиц.

Как правило, сточные воды содержат взвешенные частицы различной формы и размера. Такие воды представляют собой полидисперсные гетерогенные агрегативно-неустойчивые системы. В процессе осаждения изменяются размер, плотность и форма частиц, а также физические свойства системы. Кроме того, при слиянии различных по химическому составу сточных вод могут образовываться твердые вещества, в том числе и коагулянты. Эти явления также оказывают влияние на форму и размеры частиц. Все это усложняет установление действительных закономерностей процесса осаждения.

При отстаивании сточных вод наблюдается стесненное осаждение, которое сопровождается столкновением частиц, трением между ними и изменением скоростей как больших, так и малых частиц. Скорость стесненного осаждения меньше скорости осаждения свободного, вследствие возникновения восходящего потока жидкости и большей вязкости среды.

При периодическом процессе осаждения взвешенные частицы в отстойнике распределяются неравномерно по высоте слоя сточных вод. Через какой-то промежуток времени после начала отстаивания в верхней части отстойника появляется осветленный слой жидкости. Чем ближе к дну отстойника, тем больше концентрация взвешенных частиц в сточной воде, а у самого дна образуется слой осадка. Во времени высота слоя осветленной жидкости и высота слоя осадка возрастают за счет промежуточных слоев. Через определенный промежуток времени в отстойнике будут находиться только слой осветленной жидкости и слой осадка. В дальнейшем, если осадок не удалить,

он будет уплотняться с уменьшением высоты. При непрерывном отстаивании наблюдаются те же зоны, но высота их не меняется в ходе процесса.

### 3.2.1.3 Песколовки

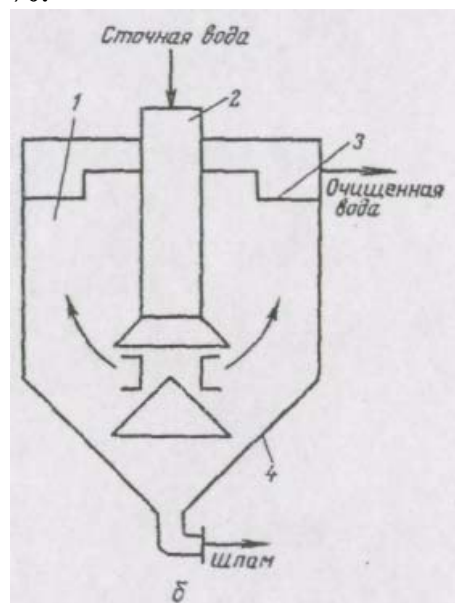
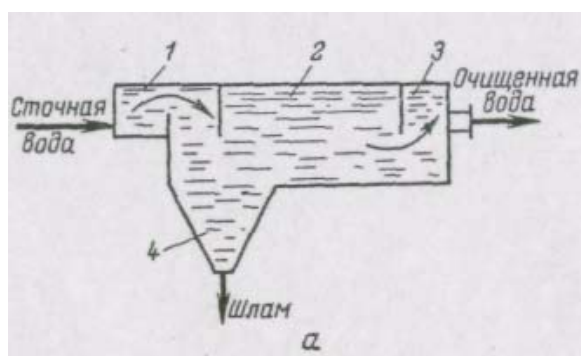
Их применяют для предварительного выделения минеральных и органических загрязнений (0,2-0,25 мм) из сточных вод. Горизонтальные песколовки представляют собой резервуары с треугольным или трапециевидальным поперечным сечением. Глубина песколовков 0,25-1 м. Скорость движения воды в них не превышает 0,3 м/с. Применяются при расходах до 7000 м<sup>3</sup>/сут.

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

Конструкцию песколовки выбирают в зависимости от количества сточных вод, концентрации взвешенных веществ. Наиболее часто используют горизонтальные песколовки.

### 3.2.1.4 Горизонтальные отстойники

Они представляют собой прямоугольные резервуары, имеющие два или более одновременно работающих отделения, в соответствии с рисунком 4. Вода движется с одного конца отстойника к другому. Глубина отстойников равна 1,5-4 м, длина 8-12 м, а ширина коридора 3-6 м. Равномерное распределение сточной воды достигается при помощи поперечного лотка. Горизонтальные отстойники рекомендуется применять при расходах сточных вод свыше 15000 м<sup>3</sup>/сут. Эффективность отстаивания достигает 60 %.



а – горизонтальный отстойник: 1 - входной лоток; 2 - отстойная камера; 3 - выходной лоток; 4 -приямок;

б - вертикальный: 1 - цилиндрическая часть; 2 -центральная труба; 3 - желоб; 4 -коническая часть.

Рисунок 4 – Отстойники.

В отстойнике успевают осесть только те частицы, траектория которых пересекает дно отстойника в пределах его длины. Горизонтальную, скорость

движения воды в отстойнике принимают не более 0,01 м/с. Продолжительность отстаивания – 1-3 ч.

#### 3.2.1.5 Вертикальные отстойники

Вертикальный отстойник представляет собой цилиндрический (или квадратный в плане) резервуар с коническим дном (рисунок 4). Сточную воду подводят по центральной трубе. После поступления внутрь отстойника вода движется снизу вверх к желобу. Для лучшего ее распределения и предотвращения образования мути трубу делают с раструбом и распределительным щитом. Таким образом, осаждение происходит в восходящем потоке, скорость которого равна 0,5-0,6 м/с. Высота зоны осаждения – 4-5 м. Эффективность осаждения вертикальных отстойников ниже на 10-20 %, чем в горизонтальных.

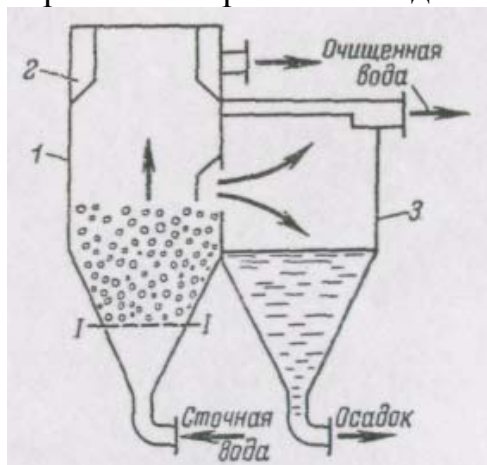
#### 3.2.1.6 Радиальные отстойники

Они представляют собой круглые резервуары. Вода в них движется от центра к периферии. При этом минимальная скорость наблюдается у периферии. Такие отстойники применяют при расходах сточных вод свыше 20000 м<sup>3</sup>/сут. Глубина проточной части отстойника 1,5-5 м, а отношение диаметра к глубине колеблется от 6 до 30. Обычно используют отстойники диаметром 16-60 м. Эффективность осаждения составляет 60 %.

#### 3.2.1.7 Осветлители.

Их применяют для очистки природных вод и для предварительного осветления сточных вод некоторых производств. Используют, в частности, осветлители со взвешенным слоем осадка, через который пропускают воду, предварительно обработанную коагулянтном.

Воду с коагулянтном подают в нижнюю часть осветлителя в соответствии с рисунком 5. Хлопья коагулянтном и увлекаемые им частицы взвеси поднимаются восходящим потоком воды до тех пор, пока скорость выпадения их не станет равной скорости восходящего потока. Выше этого сечения образуется слой взвешенного осадка, через который фильтруется осветленная вода. При этом наблюдается процесс прилипания частиц взвеси к хлопьям коагулянтном. Осадок удаляется в осадкоуплотнитель, а осветленная вода поступает в желоб, из которого ее направляют на дальнейшую очистку.



1- осветлитель; 2 — желоб; 3 –осадкоуплотнитель.

Рисунок 5- Блок осветлителя.

Образование и уплотнение осадка в осадкоуплотнителях происходит в условиях непрерывного поступления взвеси. При этом протекают следующие процессы:

- 1) стесненное осаждение частиц, образование сплошной пространственной структуры из этих частиц с постепенным уменьшением ее объема в результате сжатия пустот между частицами;
- 2) уплотнение хлопьевидных частиц осадка, сопровождающееся удалением воды, заключенной в ячейках хлопьев;
- 3) сжатие хлопьев. Третий процесс протекает медленнее двух других и поэтому лимитирует процесс уплотнения осадка в целом.

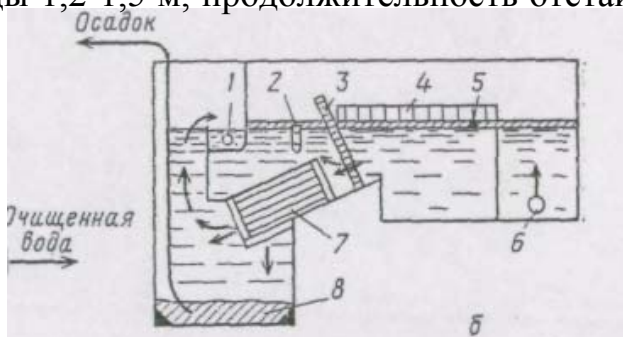
Конструкции осветлителей весьма разнообразны и отличаются по следующим признакам:

- 1) по форме рабочей камеры;
- 2) по наличию или отсутствию дырчатого днища под слоем взвешенного осадка;
- 3) по способу удаления избыточного осадка;
- 4) по конструкции и месту расположения осадкоуплотнителей.

### 3.2.2 Удаление всплывающих примесей

Процесс отстаивания используют и для очистки производственных сточных вод от нефти, масел, смол и жиров. Очистка от всплывающих примесей аналогична осаждению твердых веществ. Различие заключается в том, что плотность всплывающих частиц меньше, чем плотность воды. Для улавливания частичек нефти используют нефтеловушки. Для улавливания жиров применяют жироловушки.

Всплывание нефти на поверхность воды происходит в отстойной камере горизонтальной нефтеловушки в соответствии с рисунком 6. При помощи скребкового транспорта нефть подают к нефтесборным трубам, через которые она удаляется. Скорость движения воды в нефтеловушке изменяется в пределах 0,005-0,01 м/с. Для частичек нефти диаметром 80-100 мкм скорость всплывания равна 1-4 м/с. При этом всплывает 96-98 % нефти. Горизонтальные нефтеловушки имеют не менее двух секций. Ширина секций 2-3 м, глубина отстаиваемого слоя воды 1,2-1,5 м, продолжительность отстаивания не менее 2 ч.



- 1- корпус нефтеловушки; 2- гидрозелеватор; 3-слой нефти; 4- нефтесборная труба; 5-нефтеудерживающая перегородка; 6- скребковый транспортер; 7- приямок для осадка.

Рисунок 6 – Горизонтальная нефтеловушка.

Сточные воды маслозаводов, фабрик первичной обработки шерсти, мясокомбинатов, столовых содержат жиры. Для их улавливания используют жироловушки, которые устроены аналогично нефтеловушкам. Для увеличения эффективности удаления из вод жира применяют аэрированные жироловушки.

### 3.2.3 Фильтрация

Фильтрация применяют для выделения из сточных вод тонкодиспергированных твердых или жидких веществ, удаление которых отстаиванием затруднено. Разделение проводят при помощи пористых перегородок, пропускающих жидкость и задерживающих диспергированную фазу. Процесс идет под действием гидростатического давления столба жидкости, повышенного давления над перегородкой или вакуума после перегородки.

#### 3.2.3.1 Фильтрация через фильтрующие перегородки

Выбор перегородок зависит от свойств сточной воды, температуры, давления фильтрации и конструкции фильтра.

В качестве перегородки используют металлические перфорированные листы и сетки из нержавеющей стали, алюминия, никеля, меди и латуни, а также разнообразные тканевые перегородки (асбестовые, стеклянные, хлопчатобумажные, шерстяные, из искусственного и синтетического волокна). Для химически агрессивных сточных вод при повышенной температуре и значительных механических напряжениях наиболее пригодны металлические перегородки, изготавливаемые из перфорированных листов, сеток и пластин, получаемых при спекании сплавов.

Фильтровальные перегородки, задерживающие частицы, должны обладать минимальным гидравлическим сопротивлением, достаточной механической прочностью и гибкостью, химической стойкостью и не должны набухать и разрушаться при заданных условиях фильтрации. По материалу, из которого изготавливают перегородки, их разделяют на органические и неорганические, по принципу действия - на поверхностные и глубинные, а по структуре - на гибкие и негибкие.

*Глубинные фильтровальные перегородки* обычно применяют при осветлении суспензий с малой концентрацией твердой фазы, которая, проникая внутрь перегородки, задерживается в порах (оседает и адсорбируется).

На *поверхностных фильтровальных перегородках* при больших концентрациях твердой фазы проникания частиц в поры перегородки не происходит.

Процесс фильтрации проводят с образованием осадка на поверхности фильтрующей перегородки или с закупоркой пор фильтрующей перегородки.

Осадки, которые образуются в процессе фильтрации, могут быть сжимаемыми и несжимаемыми. Сжимаемые осадки характеризуются уменьшением порозности вследствие уплотнения и увеличением сопротивления с ростом перепада давлений. У несжимаемых осадков порозность и сопротивление потоку жидкости в процессе фильтрации остаются постоянными. К таким осадкам относят вещества минерального происхождения (песок, мел и сода) с размером частиц, больше 100 мкм.

Производительность фильтра определяется скоростью фильтрования, т. е. объемом воды, прошедшей в единицу времени через, единицу поверхности.

Для фильтрования используют различные по конструкции фильтры. Основные требования к ним: высокая эффективность выделения примесей и максимальная скорость фильтрования.

Фильтры подразделяют по различным признакам:

- по характеру протекания процесса - периодические и непрерывные;
- по виду процесса - для разделения, сгущения и осветления;
- по давлению при фильтровании - под вакуумом (до 0,085 МПа), под давлением (от 0,3 до 1,5 МПа) или при гидростатическом давлении столба жидкости (до 0,05 МПа);
- по направлению фильтрования - вниз, вверх или вбок;
- по конструктивным признакам;
- по способу съема осадка, наличию промывки и обезвоживания осадка, по форме и положению поверхности фильтрования.

В системах очистки сточных вод используют:

-фильтры периодического действия: нутч-фильтры, листовые и фильтр-прессы. Из фильтров периодического действия наиболее простыми по устройству являются нутч- или друк-фильтры. Они предназначены для разделения нейтральных, кислых и щелочных суспензий с незначительным содержанием твердой фазы.

Для разделения труднофильтруемых суспензий применяют фильтр-прессы, работающие при давлении 0,3-1,2 МПа (предусматривается возможность промывки и продувки осадка).

Листовой фильтр представляет собой емкость, в которой размещены листовые элементы. Фильтровальный элемент представляет собой полую раму с проволочной сеткой, обтянутую снаружи фильтровальной тканью. Суспензия поступает внутрь аппарата. В процессе фильтрования осадок намывается на фильтровальный элемент, а фильтрат непрерывно отводится из емкости. По окончании процесса фильтрования осадок сжатым воздухом удаляют с фильтрующих элементов внутрь емкости и выводят через специальный штуцер. Наиболее эффективно листовые фильтры используют в процессах сгущения суспензий;

-фильтры непрерывного действия: барабанные, дисковые и ленточные. Для различных целей очистки сточных вод и для обезвоживания осадков широко применяют барабанные, дисковые и ленточные вакуум-фильтры непрерывного действия. Барабанные вакуум-фильтры используют для разделения суспензий, быстро образующих осадок. Дисковые фильтры предназначены преимущественно для фильтрования суспензий с невысокой скоростью осаждения твердой фазы, а также для разделения легкоиспаряющихся, вязких, окисляемых и токсичных суспензий.

Сравнительная характеристика фильтров дана в таблице 1.

Таблица 1 - Характеристика фильтров периодического и непрерывного действия.

Факторы, влияющие на выбор фильтра	Фильтры периодического действия			Фильтры непрерывного действия		
	нутч-фильтры	листовые	фильтры-прессы	барабанные	дисковые	ленточные.
Начальная концентрация суспензии, в % от объема						
до 0,5	1	2	2	-	-	-
до 1	2-3	1-2	1	-	-	-
до 15	4	3-4	2-3	1-2	2	1
Возможность получения чистого фильтра	1-2	1	1	3	3	4
Возможность промывки	4	3	2	1	-	2
Возможность изготовления из кислотостойкой стали	1	4	4	1	4	3

Обозначения, характеризующие технико-экономические показатели фильтров: 1 - высокие; 2 - хорошие; 3 -удовлетворительные; 4 -низкие (применяются при крайней необходимости); прочерк - неудовлетворительные (неприменимость данного фильтра).

### 3.2.3.2 Фильтры с зернистой перегородкой

В процессах очистки сточных вод как правило приходится иметь дело с большим количеством воды, поэтому применяют фильтры, для работы которых не требуется высоких давлений. Исходя из этого, используют фильтры с сетчатыми элементами (микрофильтры и барабанные сетки) и фильтры с фильтрующим зернистым слоем.

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

Механизмы извлечения частиц из воды сводятся к следующим:

- 1) процеживание, при котором извлечение частиц является чисто механическим;
- 2) гравитационное осаждение;
- 3) инерционное захватывание;
- 4) химическая адсорбция;
- 5) физическая адсорбция;
- 6) адгезия;



7) коагуляционное осаждение;

8) биологическое выращивание. В общем случае эти механизмы могут действовать совместно и процесс фильтрования состоит из трех стадий:

1) перенос частиц на поверхность вещества, образующего слой;

2) прикрепление к поверхности;

3) отрыв от поверхности.

По характеру механизма задерживания взвешенных частиц различают два вида фильтрования:

1) фильтрование через пленку (осадок) загрязнений, образующуюся на поверхности зерен загрузки;

2) фильтрование без образования пленки загрязнений.

В первом случае задерживаются частицы, размер которых больше пор материала, а затем образуется слой загрязнений, который является также фильтрующим материалом. Такой процесс характерен для медленных фильтров, которые работают при малых скоростях фильтрования. Во втором случае фильтрование происходит в толще слоя загрузки, где частицы загрязнений удерживаются на зернах фильтрующего материала адгезионными силами. Такой процесс характерен для скоростных фильтров. Величина сил адгезии зависит от крупности и формы зерен, от шероховатости поверхности и ее химического состава, от скорости потока и температуры жидкости, от свойств примесей.

Продолжительность работы фильтра до «проскока» частиц в фильтрат определяют по формуле:

$$\tau_3 = 1/\kappa(l/v^{1,7}d^{0,7} - s_0d/v)$$

где  $l$  - толщина фильтрующего слоя, м;

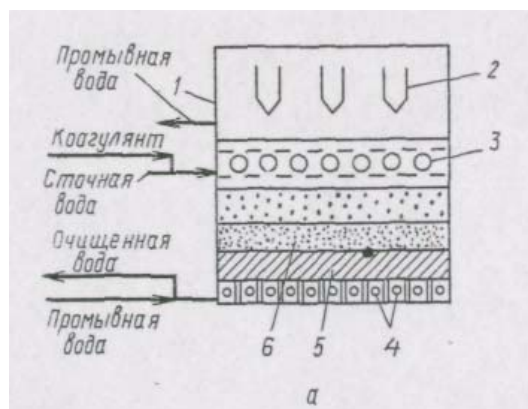
$d$  - размер частиц фильтрующего слоя, м;

$\kappa$  и  $s_0$  - константы, зависящие от концентрации взвешенных веществ в исходной и осветленной сточной воде.

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

Медленные фильтры используют для фильтрования некоагулированных сточных вод. Они представляют собой бетонные или кирпичные резервуары с дренажным устройством, на котором расположен зернистый слой. Скорость фильтрования в них зависит от концентрации взвешенных частиц: до 25 мг/л принимают скорость фильтрования 0,2-0,3 м/ч; при 25 - 30 мг/л - 0,1-0,2 м/ч. Достоинством фильтров является высокая степень очистки сточных вод. Недостатки: большие размеры, высокая стоимость и сложная очистка от осадка.

Скоростные фильтры могут быть двух типов: однослойные и многослойные. У однослойных фильтров фильтрующий слой состоит из одного и того же материала в соответствии с рисунком 7.



1 - корпус; 2 - система удаления промывных вод; 3 - система подачи сточных вод; 4 - система подачи промывных вод; 5 - пористый дренаж; 6 - фильтрующий материал.

Рисунок 7 - Скоростной однослойный фильтр.

Сточную воду подают внутрь фильтра, где она проходит через фильтрующий материал и дренаж и удаляется из фильтра. После засорения фильтрующего материала проводят промывку. Промывку фильтров как правило производят очищенной водой (фильтратом), подавая ее снизу вверх. При этом зерна загрузки переходят во взвешенное состояние и освобождаются от прилипших частиц загрязнений. Может быть произведена водо-воздушная промывка, при которой сначала зернистый слой продувают воздухом для разрыхления, а затем подают воду. Интенсивность подачи воздуха изменяется в пределах 18-22 л/(м<sup>2</sup>·с), а воды – 6-7 л/(м<sup>2</sup>·с). Возможна и трехэтапная промывка. Сначала слой продувают воздухом, а затем смесью воздух - вода; на последнем этапе - водой. Продолжительность промывки 5-7 мин. Дренажное устройство выполняют из пористобетонных сборных плит. На нем размещают фильтрующий материал (в 2-4 слоя) одного гранулометрического состава. Общая высота слоя загрузки равняется 1,5-2 м. Скорость фильтрования принимается равной 12-20 м/ч.

В многослойных скоростных фильтрах фильтрующий слой состоит из зерен разных материалов. Например, из слоя антрацита и песка. Верхние слои имеют зерна большего размера, чем нижние. Конструкция этих фильтров мало отличается от конструкции однослойных. Они имеют более высокую производительность и большую продолжительность фильтрования.

Достоинства фильтров: большая скорость фильтрации, высокое качество отмывки загрузки от загрязнений, небольшая производственная площадь, занимаемая фильтром. Недостатки: большая металлоемкость, истирание стенок трубопроводов, измельчение и унос песка, сложность эксплуатации.

### 3.2.3.3 Микрофильтры

Процесс микрофильтрации заключается в процеживании сточной воды через сетки с отверстиями размером от 40 до 70 мкм. Барабанные сетки имеют ячейки размером от 0,3х0,3 до 0,5х0,5 мм. Микрофильтры применяют для очистки сточных вод от твердых и волокнистых материалов. При концентрации взвешенных частиц 15-20 мг/л эффективность очистки составляет 50-60 % в

зависимости от состава и свойств сточных вод, размера ячеек и режима работы микрофильтров.

#### 3.2.3.4 Магнитные фильтры

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

При прохождении сточных вод ламинарным потоком через магнитное поле ферромагнитные частицы размером 0,5-1 мкм намагничиваются и образуют агломераты размером до 50 мкм, которые удаляются фильтрованием, либо осаждаются под действием гравитационного поля. Направление потока жидкости должно совпадать с направлением магнитного поля, так как при этом создаются наиболее благоприятные условия осаждения.

Магнитные сепараторы делят на три группы:

1) сепараторы, в которых отделение ферромагнитных частиц идет непосредственно под действием постоянного магнита;

2) сепараторы, в которых отделителями частиц служат специальные ферромагнитные элементы, помещенные в силовом поле постоянного магнита (или группы магнитов);

3) фильтры-сепараторы, представляющие собой комбинацию постоянных магнитов с различными механическими фильтрующими элементами.

Степень очистки фильтрованием зависит от напряженности магнитного поля, скорости течения жидкости, ее вязкости, расположения силовых полей относительно направления потока жидкости.

#### 3.2.3.5 Фильтрование эмульгированных веществ

При фильтровании эмульсий через зернистый слой имеет значение первоначальный характер поверхности. При гидрофобной поверхности прилипание частиц сильнее, чем при гидрофильной, так как на поверхности зерен гидрофильных материалов имеется гидратная оболочка. Прилипание происходит только там, где эта оболочка нарушена.

Для удаления нефтепродуктов и масел могут быть использованы фильтры с загрузкой из пенополиуретана. Высота слоя материала 2-2,5 м, размер кусков пенополиуретана 5-10 мм.. Скорость фильтрования до 25 м<sup>3</sup>/мин. Такие фильтры могут быть использованы при концентрации масел в исходной сточной воде до 1000 мг/л.

3.2.4 Удаление взвешенных частиц под действием центробежных сил и отжиманием

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

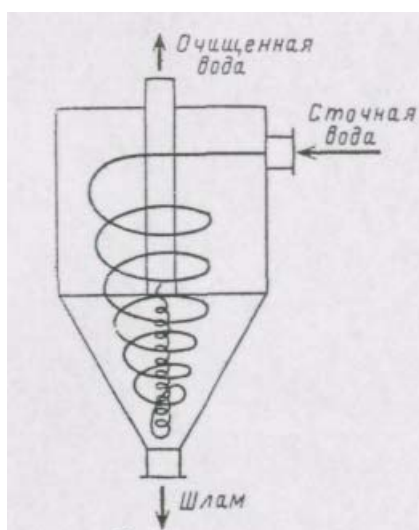
#### 3.2.4.1 Гидроциклоны

Для очистки сточных вод используют напорные и открытые

(низконапорные) гидроциклоны. Напорные гидроциклоны применяют для осаждения твердых примесей, а открытые - для удаления осаждающих и всплывающих примесей. Гидроциклоны просты по устройству, компактны, их легко обслуживать. Они отличаются высокой производительностью и небольшой стоимостью.

При вращении жидкости в гидроциклонах на частицы действуют центробежные силы, отбрасывающие тяжелые частицы к периферии потока, силы сопротивления движущегося потока, гравитационные силы и силы инерции. При высоких скоростях вращения центробежные силы значительно больше сил тяжести.

Сточную воду подают внутрь гидроциклона в соответствии с рисунком 8. При вращении жидкости под действием центробежной силы внутри гидроциклона образуется ряд потоков. Жидкость, войдя в цилиндрическую часть, приобретает вращательное движение и движется около стенок по винтовой спирали вниз к сливу. Часть ее с крупными частицами удаляется из гидроциклона. Другая часть (осветленная) поворачивает и движется вверх около оси гидроциклона. Кроме того, возникают радиальные и замкнутые циркуляционные токи. В центре образуется воздушный столб, давление которого меньше атмосферного. Он оказывает влияние на эффективность гидроциклонов.



1 - конические диафрагмы; 2 - лоток; 3 - водослив; 4 - маслосборная воронка; 5 - распределительные лотки; 6 - шламootводящая щель.

Рисунок 8 – Схема гидроциклона.

Гидроциклоны изготавливаются диаметром от 10 до 700 мм, высота цилиндрической части - примерно равна диаметру аппарата. Угол конусности равен 10-20°. Эффективность гидроциклонов находится на уровне 70 %.

#### 3.2.4.2 Открытые (безнапорные) гидроциклоны

Их применяют для очистки сточных вод от крупных примесей (крупностью более 5 мм). От напорных гидроциклонов они отличаются большей производительностью и меньшим гидравлическим сопротивлением.

### 3.2.4.3 Многоярусные гидроциклоны

В многоярусных гидроциклонах рабочий объем разделен коническими диафрагмами на несколько ярусов, каждый из которых работает самостоятельно. В этой конструкции использован принцип тонкослойного отстаивания (более полное использование объема аппарата, уменьшение времени пребывания при одинаковой степени очистки).

Конструктивные размеры многоярусных гидроциклонов: диаметр 3-6 м, высота яруса 130-200 мм, число ярусов 4-20, диаметр отверстия диафрагмы 0,6-1,4 м, ширина шламоотводящей щели 100 мм, число впусков 3, скорость воды на входе в аппарат принимается равной 0,5 м/с.

### 3.2.4.4 Центрифуги.

Для удаления осадков из сточных вод могут быть использованы фильтрующие и отстойные центрифуги.

Центробежное фильтрование достигается вращением суспензии в перфорированном барабане, обтянутом сеткой или фильтровальной тканью. Осадок остается на стенках барабана. Его удаляют вручную или ножевым съемом.

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

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

Центрифуги периодического действия применяют при расходах суспензии меньше 5 м<sup>3</sup>/ч в широком диапазоне концентраций суспензий с частицами диаметром больше 10 мкм. Наибольшее распространение получили центрифуги с механизированной выгрузкой осадка. Цикл их работы состоит из следующих операций: наполнения, центрифугирования, промывки осадка, центрифугирования после промывки и выгрузки осадка. Среди центрифуг непрерывного действия наиболее распространены центрифуги с пульсирующей и шнековой выгрузкой осадка. Применяются для разделения концентрированных суспензий с размером частиц более 100 мкм.

Из отстойных центрифуг непрерывного действия в системах очистки сточных вод наибольшее распространение получили горизонтальные шнековые центрифуги. Их используют для выделения частиц гидравлической крупностью примерно 0,2 мм/с (противоточные) и 0,05 мм/с (прямоточные).

## 3.3 Физико-химические методы очистки сточных вод

К физико-химическим методам очистки сточных вод относят коагуляцию, флотацию, адсорбцию, ионный обмен, экстракцию, ректификацию, выпаривание, дистилляцию, обратный осмос и

ультрафильтрацию, кристаллизацию и десорбцию. Эти методы используют для удаления из сточных вод тонкодисперсных взвешенных частиц (твердых и жидких), растворимых газов, минеральных и органических веществ.

Использование физико-химических методов для очистки сточных вод по сравнению с биохимическими имеет ряд преимуществ:

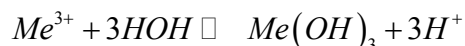
- 1) возможность удаления из сточных вод токсичных, биохимически неокисляемых органических загрязнений;
- 2) достижение более глубокой и стабильной степени очистки;
- 3) меньшие размеры сооружений;
- 4) меньшая чувствительность к изменениям нагрузок;
- 5) возможность полной автоматизации;
- 6) более глубокая изученность кинетики некоторых процессов, а также вопросов моделирования, математического описания и оптимизации, что важно для правильного выбора и расчета аппаратуры;
- 7) методы не связаны с контролем за деятельностью живых организмов;
- 8) возможность рекуперации различных веществ.

Выбор того или иного метода очистки (или нескольких методов) производят с учетом санитарных и технологических требований, предъявляемых к очищенным производственным сточным водам с целью дальнейшего их использования, а также с учетом количества сточных вод и концентрации загрязнений в них, наличия необходимых материальных и энергетических ресурсов и экономичности процесса.

### 3.3.1 Коагуляция

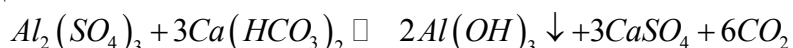
Это процесс укрупнения дисперсных частиц в результате их взаимодействия и объединения в агрегаты. В очистке сточных вод ее применяют для ускорения процесса осаждения тонкодисперсных примесей и эмульгированных веществ. Коагуляция наиболее эффективна для удаления из воды коллоидно-дисперсных частиц, то есть частиц размером 1-100 мкм. Коагуляция может происходить самопроизвольно или под влиянием химических и физических процессов. В процессах очистки сточных вод коагуляция происходит под влиянием добавляемых к ним специальных веществ - коагулянтов. Коагулянты в воде образуют хлопья гидроксидов металлов, которые быстро оседают под действием силы тяжести. Хлопья обладают способностью улавливать коллоидные и взвешенные частицы и агрегировать их. Так как коллоидные частицы имеют слабый отрицательный заряд, а хлопья коагулянтов слабый положительный заряд, то между ними возникает взаимное притяжение.

Процесс гидролиза коагулянтов и образования хлопьев происходит по следующим стадиям:

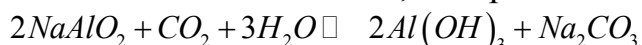


В качестве коагулянтов обычно используют соли алюминия, железа или их смеси. Выбор коагулянта зависит от его состава, физико-химических свойств и стоимости, концентрации примесей в воде, от pH и солевого состава воды.

В качестве коагулянтов используют сульфат алюминия  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ , алюминат натрия  $NaAlO_2$ , гидроксохлорид алюминия  $Al_2(OH)_5Cl$ , тетраоксосульфаты алюминия-калия и алюминия-аммония. Из них наиболее распространен сульфат алюминия, который эффективен в интервале значений  $pH=5-7,5$ . Он хорошо растворим в воде и имеет относительно низкую стоимость. Его применяют в сухом виде или в виде 50 %-го раствора. При коагулировании сульфата алюминия он взаимодействует с гидрокарбонатами, имеющимися в воде:



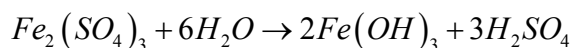
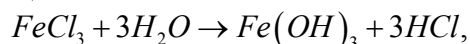
Алюминат натрия применяют в сухом виде или в виде 45 %-го раствора. Он является щелочным реагентом, при  $pH=9,3-9,8$  образует быстроосаждающиеся хлопья. Для нейтрализации избыточной щелочности можно использовать кислоты или дымовые газы, содержащие  $CO_2$ :



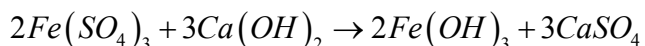
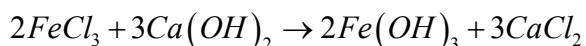
Оксихлорид алюминия обладает меньшей кислотностью и поэтому пригоден для очистки слабощелочных вод. Ввиду высокого содержания в нем водорастворимого алюминия ускоряется хлопьеобразование и осаждение коагулированной взвеси, например по реакции



Из солей железа в качестве коагулянтов используют сульфаты железа  $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 2H_2O$ ,  $Fe(SO_4)_3 \cdot 3H_2O$  и  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ , а также хлорное железо  $FeCl_3$ . Наибольшее осветление происходит при использовании солей трехвалентного железа. Хлорное железо применяют в сухом виде или в виде 10-15 %-х растворов. Сульфаты используют в виде порошков. Доза коагулянта зависит от pH сточных вод. Для  $Fe^{3+}$  pH равен 6-9, а для  $Fe^{2+}$  pH 9,5 и выше. Для подщелачивания сточных вод используют NaOH и  $Ca(OH)_2$ . Образование хлопьев протекает по реакциям



при подщелачивании



Соли железа как коагулянты, имеют ряд преимуществ перед солями алюминия: лучшее действие при низких температурах воды, более широкая область оптимальных значений pH среды, большая прочность и гидравлическая крупность хлопьев, возможность использования для вод с более широким диапазоном солевого состава, способность устранять вредные запахи и привкусы, обусловленные присутствием сероводорода. Однако имеются и недостатки: образование при реакции катионов железа с некоторыми

органическими соединениями сильно окрашивающих растворимых комплексов, сильные кислотные свойства, усиливающие коррозию аппаратуры, менее развитая поверхность хлопьев.

При использовании смесей  $Al_2(SO_4)_3$  и  $FeCl_3$  в соотношениях от 1:1 до 1:2 достигается лучший результат коагулирования, чем при отдельном использовании реагентов. Происходит ускорение осаждения хлопьев. Кроме названных коагулянтов для обработки сточных вод могут быть использованы различные глины, алюминийсодержащие отходы производства, травильные растворы, пасты, смеси и шлаки, содержащие диоксид кремния.

### 3.3.2 Флокуляция

Это процесс агрегации взвешенных частиц при добавлении в сточную воду высокомолекулярных соединений, называемых флокулянтами. В отличие от коагуляции при флокуляции агрегация происходит не только при непосредственном контакте частиц, но и в результате взаимодействия молекул адсорбированного вещества на частицах флокулянта.

Флокуляцию проводят для интенсификации процесса образования хлопьев гидроксидов алюминия и железа с целью повышения скорости их осаждения. Использование флокулянтов позволяет снизить дозы коагулянтов, уменьшить продолжительность процесса коагуляции и повысить скорость осаждения образующихся хлопьев.

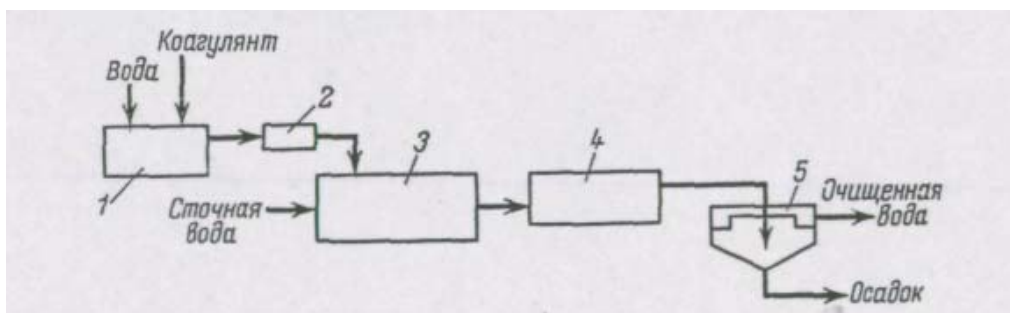
Для очистки сточных вод используют природные и синтетические флокулянты. К природным флокулянтам относятся крахмал, декстрин, эфиры и целлюлозу. Активный диоксид кремния ( $SiO_2 \cdot H_2O$ ) является наиболее распространенным неорганическим флокулянтом. Из синтетических органических флокулянтов наибольшее применение в нашей стране получил полиакриламид  $[-CH_2-CH(CONH_2)]_n$ , технический (ПАА) и гидролизированный (ГППА). Технический ПАА получают при взаимодействии акрилонитрила с серной кислотой с последующей полимеризацией акриламида. Гидролизированный полиакриламид получают омылением технического ПАА щелочью.

Оптимальная доза ПАА для очистки промышленных сточных вод колеблется в пределах 0,4-1 г/м<sup>3</sup>. ПАА действует в широком диапазоне pH среды. Однако скорость осаждения сфлокулированных хлопьев при  $pH > 9$  уменьшается.

Полиакриламид выпускается в виде 7-9 %-ного геля, затвердевающего при температуре ниже 273 К. При добавлении ПАА к воде, ее вязкость резко возрастает.

Процесс очистки сточных вод коагуляцией и флокуляцией состоит из следующих стадий: дозирование и смешение реагентов со сточной водой, хлопьеобразование и осаждение хлопьев в соответствии с рисунком 9.





1- емкость для приготовления растворов, 2- дозатор, 3- смеситель, 4- камера хлопьеобразования, 5- отстойник.

Рисунок 9 – Схема установки для очистки вод коагуляцией.

Для смешения коагулянтов с водой применяют гидравлические и механические смесители. В гидравлических смесителях смешение происходит вследствие изменения направления движения и скорости потока воды. В механических смесителях - аппаратах с мешалкой процесс перемешивания должен быть равномерным и медленным, чтобы частицы при сближении образовывали хлопья, которые не разрушались бы при вращении мешалки.

После смешения сточных вод с реагентами воду направляют в камеры хлопьеобразования. Используют перегородчатые, вихревые и с механическими мешалками камеры. Образование хлопьев в камерах протекает медленно - за 10-30 мин. Осаждение хлопьев происходит в отстойниках и осветлителях.

### 3.3.3 Флотация

Флотацию применяют для удаления из сточных вод нерастворимых диспергированных примесей, которые самопроизвольно плохо отстаиваются. В некоторых случаях флотацию используют и для удаления растворенных веществ, например ПАВ. Такой процесс называют пенной сепарацией или пенным концентрированием. Флотацию применяют для очистки сточных вод многих производств: нефтеперерабатывающих, искусственного волокна, целлюлозно-бумажных, кожевенных, машиностроительных, пищевых и химических. Ее используют также для выделения активного ила после биохимической очистки.

Достоинствами флотации являются непрерывность процесса, широкий диапазон применения, небольшие капитальные и эксплуатационные затраты, простая аппаратура, селективность выделения примесей, по сравнению с отстаиванием большая скорость процесса, а также возможность получения шлама более низкой влажности (90-95 %), высокая степень очистки (95-98 %) и возможность рекуперации удаляемых веществ. Флотация сопровождается аэрацией сточных вод, снижением концентрации ПАВ и легкоокисляемых веществ, бактерий и микроорганизмов. Все это способствует успешному проведению последующих стадий очистки сточных вод.

Элементарный акт флотации заключается в следующем: при сближении поднимающегося в воде пузырька воздуха с твердой гидрофобной частицей разделяющая их прослойка воды при некоторой критической толщине прорывается и происходит слипание пузырька с частицей. Затем комплекс "пузырек – частица" поднимается на поверхность воды, где пузырьки

собираются и возникает пенный слой с более высокой концентрацией частиц, чем в исходной сточной воде.

Возможность образования флотационного комплекса “частица – пузырек”, скорость процесса и прочность связи, продолжительность существования комплекса зависят от природы частиц, а также от характера взаимодействия реагентов с их поверхностью и от способности частиц смачиваться водой.

Различают следующие способы флотационной обработки сточных вод: с выделением воздуха из растворов, с механическим диспергированием воздуха, с подачей воздуха через пористые материалы, электрофлотацию и химическую флотацию.

### 3.3.4 Флотация с выделением воздуха из раствора

Этот способ применяют для очистки сточных вод, которые содержат очень мелкие частицы загрязнений. Сущность способа заключается в создании пересыщенного раствора воздуха в сточной жидкости. При уменьшении давления из раствора выделяются пузырьки воздуха, которые флотируют загрязнения. В зависимости от способа создания пересыщенного раствора воздуха в воде различают вакуумную, напорную и эрлифтную флотацию:

1) при вакуумной флотации сточную воду предварительно насыщают воздухом при атмосферном давлении в аэрационной камере, а затем направляют во флотационную камеру, где вакуум-насосом поддерживается разрежение 29,9-39,9 кПа. Выделяющиеся в камере мельчайшие пузырьки выносят часть загрязнений. Процесс флотации длится около 20 мин.

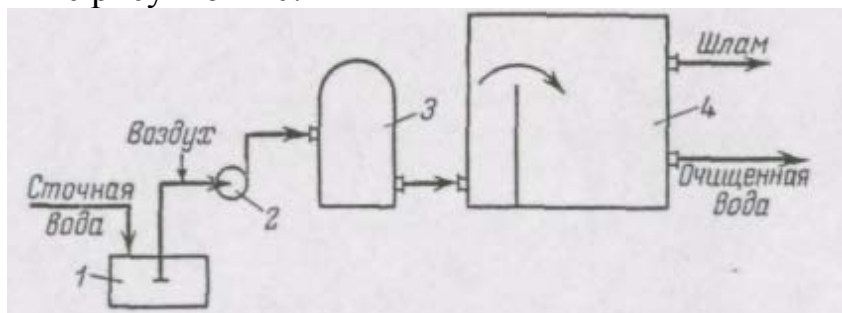
Достоинствами этого способа являются:

-образование пузырьков газа и их слипание с частицами происходит в спокойной среде (вероятность разрушения агрегатов “пузырек – частица” сведена к минимуму);

-затрата энергии на процесс минимальна.

Недостатки: незначительная степень насыщения стоков пузырьками газа, поэтому этот способ нельзя применять при высокой концентрации взвешенных частиц (не более 250-300 мг/л), необходимость сооружать герметически закрытые флотаторы и размещать в них скребковые механизмы;

2) напорные установки имеют большее распространение, чем вакуумные в соответствии с рисунком 10.



1- емкость; 2- насос; 3- напорный бак; 4- флотатор.

Рисунок 10 - Схема установки напорной флотации.

Они просты и надежны в эксплуатации. Напорная флотация позволяет очищать сточные воды с концентрацией взвесей до 4-5 г/л. Для увеличения степени очистки в воду добавляют коагулянты.

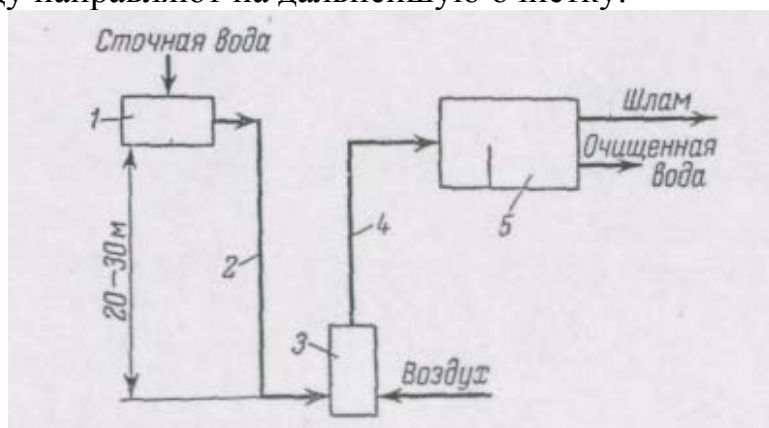
Аппараты напорной флотации обеспечивают по сравнению с нефтеловушками в 5-10 раз меньшее остаточное содержание загрязнений и имеют в 5-10 раз меньшие габариты. Процесс осуществляется в две стадии:

- а) насыщение воды воздухом под давлением;
- б) выделение растворенного газа под атмосферным давлением.

Схема напорной флотации показана на рисунке 10. Сточная вода поступает в приемный резервуар, откуда ее перекачивают насосом, во всасывающий трубопровод которого засасывается воздух. Образующуюся водно-воздушную смесь направляют в напорную емкость, где при повышенном давлении (0,15-0,4 МПа) воздух растворяется в воде. При поступлении водно-воздушной смеси во флотатор, который работает при атмосферном давлении, воздух выделяется в виде пузырьков и флотирует взвешенные частицы. Пену с твердыми частицами удаляют с поверхности воды скребковым механизмом. Осветленная вода выходит из нижней части флотатора. При использовании коагулянтов хлопьеобразование происходит в напорной емкости. Напорные флотационные установки имеют производительность от 5-10 до 1000-2000 м<sup>3</sup>/ч;

3) эрлифтные установки применяют для очистки сточных вод в химической промышленности. Они просты по устройству, затраты энергии на проведение процесса в них в 2-4 раза: меньше, чем в напорных установках. Недостаток этих установок - необходимость размещения флотационных камер на большой высоте. Схема эрлифтной установки показана на рисунке 11.

Сточная вода из емкости, находящейся на высоте 20-30 м, поступает в аэратор. Туда же подают сжатый воздух, который растворяется под повышенным давлением. Поднимаясь по эрлифтному трубопроводу, жидкость обогащается пузырьками воздуха, который выделяется во флотаторе. Образующаяся пена с частицами удаляется самотеком или скребком. Осветленную воду направляют на дальнейшую очистку.



1-емкость; 2 - трубопровод; 3 - аэратор; 4 - труба эрлифта; 5 - флотатор.

Рисунок 11 - Схема эрлифтной установки.

### 3.3.5 Флотация с механическим диспергированием воздуха

Механическое диспергирование воздуха во флотационных машинах обеспечивается турбинками насосного типа - импеллерами, которые представляют собой диск с радиальными обращенными вверх лопатками. Такие установки широко используют при обогащении полезных ископаемых. В последнее время их стали применять и для очистки сточных вод с высоким содержанием взвешенных частиц (более 2 г/л). При вращении импеллера в жидкости возникает большое число мелких вихревых потоков, которые разбиваются на пузырьки определенной величины. Степень измельчения и эффективность очистки зависят от скорости вращения импеллера. Чем больше скорость, тем меньше пузырек и тем больше эффективность процесса. Однако при высоких окружных скоростях резко возрастает турбулентность потока и может произойти разрушение хлопьевидных частиц, что приведет к снижению эффективности процесса очистки.

### 3.3.6 Пневматические установки

Такие установки применяют для очистки сточных вод, содержащих растворенные примеси, агрессивные по отношению к механизмам, имеющим движущиеся части (насосы, импеллеры).

Измельчение пузырьков воздуха достигается при пропускании его через специальные сопла на воздухораспределительных трубках. Обычно применяют сопла с отверстиями диаметром 1,0-1,2 мм, рабочее давление перед ними 0,3-0,5 МПа. Скорость струи воздуха на выходе из сопел 100-200 м/с. Продолжительность флотации в каждом случае устанавливают экспериментально, обычно в пределах 15-20 мин.

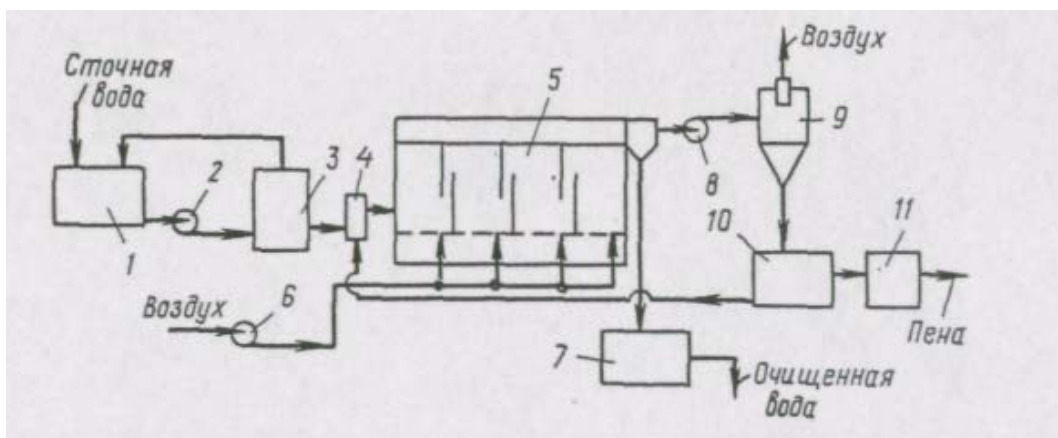
### 3.3.7 Очистка методом пенного фракционирования (пенной сепарацией)

Пенное фракционирование основано на селективной адсорбции одного или нескольких растворенных веществ на поверхности газовых пузырьков, которые поднимаются вверх через раствор. Образовавшаяся пена обогащается адсорбированным веществом, что и обеспечивает парциальную сепарацию компонентов раствора.

Этот процесс используют для удаления ПАВ из сточной воды; он аналогичен процессу адсорбции на твердых сорбентах. Схема процесса очистки сточной воды от ПАВ методом пенной сепарации показана на рисунке 12.

Сепаратор имеет несколько камер, в каждую из которых вводят воздух. Высота слоя воды в камерах составляет 0,5-0,8 м. Очищенная вода поступает в сборник, а пену вентилятором подают в циклон (в вентиляторе происходит частичное разрушение пены), где газовая фаза отделяется от жидкости. Из циклона смесь воды с пеной поступает в отстойник, где происходит разделение. Вода поступает в камеру сепаратора, а пена в камеру концентрирования.

В процессе пенной сепарации происходит не только извлечение ПАВ, но и одновременное удаление из воды суспендированных или эмульгированных частиц, а также частичное удаление растворенных веществ.



1 - емкость; 2 - насос; 3 - промежуточный сборник; 4 - расходомер; 5 - сепаратор; 6 - воздуходувка; 7 - сборник; 8 - вентилятор; 9 - циклон; 10 - отстойник; 11 - камера концентрирования пены.

Рисунок 12 - Схема установки очистки сточных вод методом пенной сепарации.

В процессе разделения образуется пена с повышенной концентрацией ПАВ, количество которой пропорционально концентрации ПАВ и расходу сточной воды. Выделение ПАВ из стойкой пены связано со значительными трудностями, поэтому она в большинстве случаев является отходом.

Процесс очистки сточных вод от ПАВ методом пенного фракционирования имеет следующие недостатки:

- 1) образуется обогащенный ПАВ конденсат, который медленно разрушается;
- 2) при увеличении концентрации ПАВ в сточной воде эффективность очистки снижается.

### 3.4 Использование сорбционных методов очистки природных и сточных вод, выделение ценных компонентов. Опреснение воды

#### 3.4.1 Адсорбция

Адсорбционные методы широко применяют для глубокой очистки сточных вод от растворенных органических веществ после биохимической очистки, а также в локальных установках, если концентрация этих веществ в воде невелика и они биологически не разлагаются или являются сильнотоксичными. Применение локальных установок целесообразно, если вещество хорошо адсорбируется при небольшом удельном расходе адсорбента.

Адсорбцию используют для обезвреживания сточных вод от фенолов, гербицидов, пестицидов, ароматических нитросоединений, ПАВ и красителей. Достоинством метода является высокая эффективность, возможность очистки сточных вод, содержащих несколько веществ, а также рекуперации этих веществ.

Адсорбционная очистка вод может быть регенеративной, т. е. с извлечением вещества из адсорбента и его утилизацией, и деструктивной, при которой извлеченные из сточных вод вещества уничтожаются вместе с

адсорбентом. Эффективность адсорбционной очистки достигает 80-95 % и зависит от химической природы адсорбента, величины адсорбционной поверхности и ее доступности, от химического строения вещества и его состояния в растворе.

В качестве сорбентов используют активные угли, синтетические сорбенты и некоторые отходы производства (золу, шлаки, опилки). Минеральные сорбенты - глины, силикагели, алюмогели и гидроксиды металлов для адсорбции различных веществ из сточных вод используют мало, так как энергия взаимодействия их с молекулами воды велика - иногда превышает энергию адсорбции. Наиболее универсальными из адсорбентов являются активные угли, однако они должны обладать определенными свойствами. Они должны слабо взаимодействовать с молекулами воды и хорошо - с органическими веществами, быть относительно крупнопористыми (с эффективным радиусом адсорбционных пор в пределах 0,8-5,0 нм), чтобы их поверхность была доступна для больших и сложных органических молекул. При малом времени контакта с водой они должны иметь высокую адсорбционную емкость, высокую селективность и малую удерживающую способность при регенерации. При соблюдении последнего условия затраты на реагенты для регенерации угля будут небольшими. Угли должны быть прочными, быстро смачиваться водой, иметь определенный гранулометрический состав. В процессе очистки используют мелкозернистые адсорбенты с частицами размером 0,25-0,5 мм и высокодисперсные угли с частицами размером менее 40 мкм.

Важно, чтобы угли обладали малой каталитической активностью по отношению к реакциям окисления и конденсации, так как некоторые органические вещества, находящиеся в сточных водах, способны окисляться и осмоляться. Эти процессы ускоряются катализаторами. Осмолившиеся вещества забивают поры адсорбента, что затрудняет его низкотемпературную регенерацию. Наконец, они должны иметь низкую стоимость, не уменьшать адсорбционную емкость после регенерации и обеспечивать большое число циклов работы.

Сырьем для активных углей может быть практически любой углеродсодержащий материал: уголь, древесина, полимеры, отходы пищевой, целлюлозно-бумажной и других отраслей промышленности.

3.4.2 Основы процесса адсорбции. Скорость процесса адсорбции зависит от концентрации, природы и структуры растворенных веществ, температуры воды, вида и свойств адсорбента. В общем случае процесс адсорбции складывается из трех стадий:

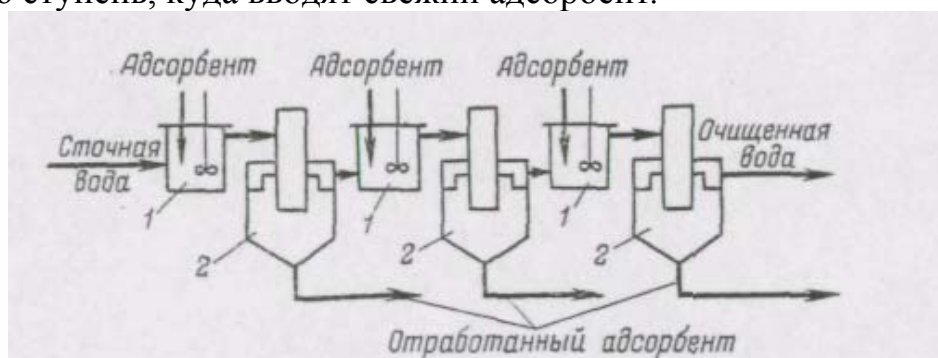
- а) переноса вещества из сточной воды к поверхности зерен адсорбента (внешнедиффузионная область);
- б) собственно адсорбционный процесс;
- в) перенос вещества внутри зерен адсорбента (внутридиффузионная область).

Процесс адсорбционной очистки сточной воды ведут при интенсивном перемешивании адсорбента с водой, при фильтровании воды через слой

адсорбента или в псевдооживленном слое на установках периодического и непрерывного действия.

1 При смешивании адсорбента с водой используют активный уголь в виде частиц 0,1 мм и меньше. Процесс проводят в одну или несколько ступеней. Статическая одноступенчатая адсорбция нашла применение в тех случаях, когда адсорбент очень дешев или является отходом производства. Более эффективно (при меньшем расходе адсорбента) процесс протекает при использовании многоступенчатой установки в соответствии с рисунком 13.

При этом в первую ступень вводят столько адсорбента, сколько необходимо для снижения концентрации загрязнителя, затем адсорбент отделяют отстаиванием или фильтрованием, а сточную воду направляют во вторую ступень, куда вводят свежий адсорбент.



1 - смеситель; 2 - отстойник.

Рисунок 13 - Схема адсорбционной установки с последовательным введением адсорбента.

Расход адсорбента для одноступенчатого процесса определяют по формуле:

$$m = Q(c_n - c_k) / a$$

где  $m$  - расход адсорбента, мг;

$Q$  - объем сточных вод, л;

$c_n$  и  $c_k$  - начальная и конечная концентрации загрязненной сточной воды, мг/л;

$a$  - коэффициент адсорбции.

Конечная концентрация загрязнений в сточной воде после очистки в установке с  $n$  ступенями рассчитывается по формуле:

$$c_k = [Q / (Q + k_m)]^n \cdot c_n$$

где  $k_m$  - коэффициент распределения, равный

$$k_m = (c_n - c_k) / (c_n - c_p) \approx 0,7 - 0,8$$

где  $c_p$  - равновесная концентрация вещества.

2 В динамических условиях процесс очистки проводят при фильтровании сточной воды через слой адсорбента. Скорость фильтрования зависит от концентрации растворенных веществ и колеблется от 2-4 до 5-6 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч). Вода в колонне движется снизу вверх, заполняя все сечение. Адсорбент применяют в виде частиц размером в пределах 1,5-5 мм. При более мелких зернах возрастает сопротивление фильтрованию жидкости. Уголь укладывают на слой гравия, расположенного на решетке. Во избежание забивки адсорбента сточная вода не должна содержать твердых взвешенных примесей.

В одной колонне при неподвижном слое угля процесс очистки ведут периодически до проскока, а затем адсорбент выгружают и регенерируют. При непрерывном процессе используют несколько колонн, из которых две колонны работают последовательно, а третья отключена на регенерацию. В момент проскока в колонне появляется слой адсорбента, который не работает. Этот слой называют «мертвым» слоем. Если одновременно выводить из колонны «мертвый» слой и вводить в нее такой же слой свежего адсорбента, то колонна будет работать непрерывно. Для подачи адсорбента имеются специальные дозаторы.

3 Установки с псевдооживленным слоем (периодического или непрерывного действия) целесообразно применять при высоком содержании взвешенных веществ в сточной воде. Размер частиц адсорбента при этом должен быть равным 0,5-1 мм. Скорость потока для частиц указанных размеров находится в пределах 8-12 м/ч.

#### 3.4.3 Регенерация адсорбента

Важнейшей стадией процесса адсорбционной очистки является регенерация активного угля. Адсорбированные вещества из угля извлекают десорбцией насыщенным или перегретым водяным паром либо нагретым инертным газом. Температура перегретого пара при этом (при избыточном давлении 0,3-0,6 МПа) равна 200-300 °С, а инертных газов 120-140 °С. Расход пара при отгонке легколетучих веществ равен 2,5-3 кг на 1 кг отгоняемого вещества, для высококипящих - в 5-10 раз больше. После десорбции пары конденсируют и вещество извлекают из конденсата.

Для регенерации углей может быть использована и экстракция (жидкофазная десорбция) органическими низкокипящими и легкоперегоняющимися с водяным паром растворителями. При регенерации органическими растворителями (метанолом, бензолом, толуолом и дихлорэтаном) процесс проводят при нагревании или без нагревания. По окончании десорбции остатки растворителей из угля удаляют острым паром или инертным газом.

Для десорбции адсорбированных слабых органических электролитов их переводят в диссоциированную форму. При этом ионы переходят в раствор, заключенный в порах угля, откуда их вымывают горячей водой, раствором кислот (для удаления органических оснований) или раствором щелочей (для удаления кислот).

В некоторых случаях перед регенерацией адсорбированное вещество путем химического превращения переводят в другое вещество, которое легче



извлекается из адсорбента. В том случае, когда адсорбированные вещества не представляют ценности, проводят деструктивную регенерацию химическими реагентами (окислением хлором, озоном или термическим путем). Термическую регенерацию проводят в печах различной конструкции при температуре 700-800 °С в бескислородной среде. Регенерацию ведут смесью продуктов горения газа или жидкого топлива и водяного пара. Она связана с потерей части адсорбента (15-20 %). Разрабатываются биологические методы регенерации углей, при которых адсорбированные вещества биохимически окисляются. Этот способ регенерации значительно удлиняет срок использования сорбента.

#### 3.4.4 Адсорбционная очистка сточных вод от нитропродуктов

Адсорбционная очистка сточных вод от нитропродуктов, содержание которых в воде находится в пределах 100 - 400 мг/л, производят углями до остаточного их содержания не более 20 мг/л. Уголь регенерируют растворителями (бензолом, метанолом, этанолом и метиленхлоридом). Растворитель и нитропродукты разделяют перегонкой. Остатки растворителя из угля удаляют острым паром.

Для извлечения фенолов из сточных вод используют активные угли различных марок. Высокой поглотительной способностью обладают селективные сильнокарбонизированные малозольные угли с высокой пористой структурой, а также угли марок ИГП-90, КАД (йодный), ОУ (сухой), АГ-3 и АП-3. Степень извлечения фенолов этими углями изменяется от 50 до 99 %. Сорбционная емкость уменьшается с повышением рН среды и при рН=9 составляет 10-15 %.

Регенерацию углей проводят термическим способом в многоподовых печах или печах с кипящим слоем при температуре 870-930°С. При этом теряется 10-15 % адсорбента. При регенерации углей растворителями (этиловым эфиром, бензолом и щелочью) регенерация достигает соответственно 85, 70 и 37%. Возможно удаление фенолов из углей и аммиачной водой.

Практически полной дефенолизации сточных вод добиваются, используя в качестве сорбента сульфат железа, модифицированный полиакриламидом и карбоксиметилцеллюлозой.

Для удаления небольших количеств ПАВ из сточных вод (не более 100-200 мг/л) используют адсорбционную очистку активными углями АГ-5 и БАУ. Кроме того, можно применять активный антрацит и природные сорбенты (торф, глины и бурые угли), а также шлак и золу, сорбционная емкость которых зависит от рН среды. Для адсорбции ПАВ могут быть использованы осадки гидроксидов алюминия и железа, сульфиды меди и фосфаты кальция, которые образуются при добавлении в сточную воду коагулянтов.

Процесс очистки проводят в фильтрационных колонках с неподвижным слоем угля, пропуская воду снизу вверх со скоростью 2-6 м/с. Предварительно из воды должны быть удалены взвешенные вещества. Регенерацию углей проводят горячей водой, водными растворами кислот (для удаления

катионообменных ПАВ) или щелочей (для удаления анионоактивных ПАВ), а также органическими жидкостями, растворяющими ПАВ.

### 3.4.5 Ионный обмен

Ионообменная очистка применяется для извлечения из сточных вод металлов (цинка, меди, хрома, никеля, свинца, ртути, кадмия, ванадия и марганца), а также соединений мышьяка, фосфора, цианистых соединений и радиоактивных веществ. Метод позволяет рекуперировать ценные вещества при высокой степени очистки воды. Ионный обмен широко распространен при обессоливании в процессе водоподготовки.

#### 3.4.5.1 Сущность ионного обмена.

Ионный обмен представляет собой процесс взаимодействия раствора с твердой фазой, обладающей свойствами обменивать ионы, содержащиеся в ней, на другие ионы, присутствующие в растворе. Вещества, составляющие эту твердую фазу, носят название ионитов. Они практически не растворимы в воде. Те из них, которые способны поглощать из растворов электролитов положительные ионы, называются катионитами, отрицательные ионы - анионитами. Первые обладают кислотными свойствами, вторые - основными. Если иониты обменивают и катионы, и анионы, их называют амфотерными.

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

1 Полная емкость - это количество поглощаемого вещества при полном насыщении единицы объема или массы ионита.

2 Статическая емкость - это обменная емкость ионита при равновесии в данных рабочих условиях. Статическая обменная емкость обычно меньше полной.

3 Динамическая обменная емкость - это емкость ионита до «проскока» ионов в фильтрат. Динамическая емкость меньше статической.

Иониты (катиониты и аниониты) бывают неорганические (минеральные) и органические. Это могут быть природные вещества или вещества, полученные искусственно.

К неорганическим природным ионитам относятся глинистые минералы, полевые шпаты и различные слюды. Катионообменные свойства их обусловлены содержанием алюмосиликатов типа  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ . К неорганическим синтетическим ионитам относятся силикагели, труднорастворимые оксиды и гидроксиды некоторых металлов (алюминия, хрома и циркония). Катионообменные свойства, например, силикагеля, обусловлены обменом ионов водорода гидроксидных групп на катионы металлов, проявляющиеся в щелочной среде.

Органические природные иониты - это гуминовые кислоты почв и углей. Они проявляют слабокислотные свойства. Для усиления кислотных свойств и обменной емкости угли измельчают и сульфатируют. Сульфоугли являются дешевыми полиэлектролитами, содержащими сильно- и слабокислотные группы. К недостаткам таких ионитов следует отнести их малые химическую

стойкость и механическую прочность зерен, а также небольшую обменную емкость, особенно в нейтральных средах.

К органическим искусственным ионитам относятся ионообменные смолы с развитой поверхностью. Они и приобрели наибольшее практическое значение для очистки сточных вод. Синтетические ионообменные смолы представляют собой высокомолекулярные соединения, углеводородные радикалы которых образуют пространственную сетку с фиксированными на ней ионообменными функциональными группами. Пространственная углеводородная сетка (каркас) называется матрицей, а обменивающиеся ионы - противоионами. Каждый противоион соединен с противоположно заряженными ионами, называемыми фиксированными, или анкерными. Полимерные углеводородные цепи, являющиеся основой матрицы, связаны (сшиты) между собой поперечными связями, что придает прочность каркасу.

При сокращенном написании ионита матрицу обозначают в общем виде (R), а активную группу указывают полностью. Например, сульфокатиониты записывают как  $RSO_3H$ . Здесь R - матрица, H - противоион,  $SO_3$  - анкерный ион.

Иониты, содержащие одинаковые активные группы, называются монофункциональными, а иониты, которые содержат функциональные группы различной химической природы, - полифункциональными. Они могут обладать смешанными сильно-и слабоосновными свойствами.

Катиониты в качестве противоионов могут содержать не ионы водорода, а ионы металлов, т. е. находиться в солевой форме. Точно также и аниониты могут находиться в солевой форме, если в качестве противоионов они содержат не ионы гидроксида, а ионы тех или иных кислот.

При нагревании ионитов в воде и на воздухе возможно разрушение их зерен, отщепление активных групп, что приводит к уменьшению емкости. Для каждой смолы имеется температурный предел, выше которого ее использовать нельзя. В общем случае термическая устойчивость анионитов ниже, чем катионитов.

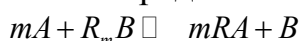
Иониты в контакте с водой не растворяются, но поглощают некоторое количество воды и набухают, являясь гелями с ограниченной набухаемостью. При набухании ионитов размер микропор возрастает от 0,5-1,0 нм до 4 нм. При этом объем ионитов увеличивается в 1,5-3 раза. Степень набухания зависит от строения смолы, природы противоионов и от состава раствора. Набухание влияет на скорость и полноту обмена ионов.

Синтетические иониты набухают в воде больше и имеют большую обменную емкость, чем природные. Срок службы синтетических катионитов значительно больше, чем анионитов. Это объясняется низкой стабильностью групп, которые в анионитах выполняют роль фиксированных ионов.

Реакция ионного обмена протекает следующим образом:



В общем виде эти реакции можно представить следующим образом:



Реакция идет до установления ионообменного равновесия. Скорость установления равновесия зависит от внешних и внутренних факторов: гидродинамического режима жидкости, концентрации обменивающихся ионов, структуры зерен ионита и его проницаемости для ионов.

Процесс переноса вещества может быть представлен в виде нескольких стадий:

- 1) перенос ионов  $A$  из ядра потока жидкости к внешней поверхности пограничной жидкой пленки, окружающей зерно ионита;
- 2) диффузия ионов через пограничный слой;
- 3) переход иона через границу раздела фаз в зерно смолы;
- 4) диффузия ионов  $A$  внутри зерна смолы к ионообменным функциональным группам;
- 5) собственно химическая реакция двойного обмена ионов  $A$  и  $B$ ;
- 6) диффузия ионов  $B$  внутри зерна ионита к границе раздела фаз;
- 7) переход ионов  $B$  через границу раздела фаз на внутреннюю поверхность пленки жидкости;
- 8) диффузия ионов  $B$  через пленку;
- 9) диффузия ионов  $B$  в ядро потока жидкости.

Скорость ионного обмена определяется самой медленной из этих стадий - диффузией в пленке жидкости либо диффузией в зерне ионита.

#### 3.4.5.2 Регенерация ионитов

Катиониты регенерируют 2-8 %-ми растворами кислот. При этом они переходят в Н-форму. Регенерационные растворы (элюаты) содержат катионы. Затем после взрыхления и промывки катиониты заряжаются, например в Na-форму, путем пропускания через них раствора поваренной соли. Тогда Н-функциональные группы, получающиеся при регенерации катионита кислотой, заменяются на Na-группу, а используемый для зарядки раствор поваренной соли подкисляется до соляной кислоты. Отработанные аниониты регенерируют 2- 6 %-ми растворами щелочи. Аниониты при этом переходят в ОН-форму.

Элюаты содержат в сконцентрированном виде все извлеченные из сточных вод анионы. При необходимости регенерируемый анионит из ОН-формы можно перевести в Cl-форму, пропуская раствор NaCl. В отработанном заряжающем растворе накапливается едкий натр. Элюаты, представляющие собой растворы кислот и щелочей, нейтрализуют или обрабатывают с целью рекуперации ценных продуктов. Нейтрализацию проводят смешением кислых и щелочных элюатов, а также дополнительным введением кислоты или щелочи.

На степень регенерации влияет тип ионита, состав насыщенного слоя, природа, концентрация и расход регенерирующего вещества, температура, время контакта и расход реагентов.

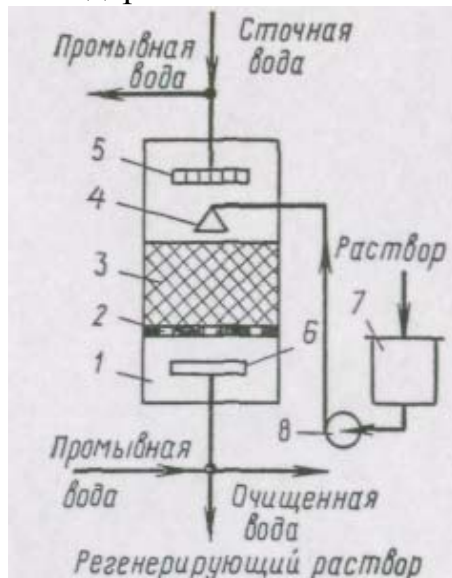
Аппараты для ионного обмена классифицируются по разным признакам:

- 1) по организации процесса - на аппараты непрерывного, полунепрерывного и периодического действия;
- 2) по гидродинамическому режиму - на аппараты вытеснения, смешения и промежуточного типа;

- 3) по состоянию слоя ионита - с неподвижным, движущимся, пульсирующим, перемешиваемым и циркулирующим слоем;
- 4) по организации контакта взаимодействующих фаз - с непрерывным и ступенчатым контактом фаз;
- 5) по организации взаимного направления движения фаз - на прямоточные, противоточные и со смешанным током;
- 6) по конструкции - на колонные и емкостные;
- 7) по способу подвода энергии - без подвода энергии извне (с гравитационным движением твердой фазы) и с подводом энергии извне (принудительное движение твердой фазы).

Процессы ионообменной очистки сточных вод проводят на установках периодического и непрерывного действия. Первые состоят из аппаратов (фильтров или колонн) периодического действия, насосов, емкостей и контрольно-измерительных приборов.

Схема установки периодического действия с намывным фильтром показана на рисунке 14. Приготовленную в емкости суспензию ионита в воде насосом направляют на циркуляцию через фильтр до образования плотного слоя ионитов толщиной 5-10 мм. Затем подают на очистку сточную воду. Отработанный ионит удаляют из фильтра воздухом на регенерацию. После намывки нового слоя ионита цикл повторяют. Такие установки целесообразно использовать при очень малом содержании солей в сточной воде.



1 - корпус; 2 - фильтрующий элемент; 3 - емкость для приготовления суспензии ионита; 4 - насос; 5 - сборник отработанного ионита.

Рисунок 14 - Схема ионообменной установки с намывным фильтром.

Недостатки установок периодического действия: большие объемы аппаратов, значительный расход реагентов, большая единовременная загрузка сорбента, сложность автоматизации процесса.

Непрерывный ионообмен дает возможность уменьшить затраты смолы, реагентов для регенерации, промывной воды, а также применять более компактное оборудование по сравнению с периодическим ионообменником. Колонны непрерывного действия могут работать как с движущимся слоем

смолы, так и с кипящим слоем. Установки непрерывного действия содержат несколько ионообменных аппаратов с катионитом и анионитом.

### **3.5 Реагентные методы очистки сточных вод**

#### **3.5.1 Экстракция**

Экстракцию применяют для очистки сточных вод, содержащих фенолы, масла, органические кислоты и ионы металлов. Целесообразность использования экстракции для очистки сточных вод определяется концентрацией органических примесей в них. Экстракция может быть экономически выгодным процессом, если стоимость извлекаемых веществ компенсирует все затраты на его проведение. В общем случае для большинства веществ можно считать, что при концентрации выше 3-4 г/л их рациональнее извлекать экстракцией, чем адсорбцией. При концентрации меньше 1 г/л экстракцию следует применять только в особых случаях.

Очистка сточных вод экстракцией состоит из трех стадий. Первая стадия - интенсивное смешение сточной воды с экстрагентом (органическим растворителем). В условиях развитой поверхности контакта между жидкостями образуются две жидкие фазы. Одна фаза - экстракт содержит извлекаемое вещество и экстрагент, другая - рафинат - сточную воду и экстрагент. Вторая стадия - разделение экстракта и рафината. Третья стадия - регенерация экстрагента из экстракта и рафината.

Чтобы снизить содержание растворенных примесей до концентраций, ниже предельно допустимых, необходимо правильно выбрать экстрагент и скорость его подачи в сточную воду. При выборе растворителя следует учитывать его селективность, физико-химические свойства, стоимость и возможные способы регенерации.

Экстрагент должен отвечать следующим требованиям:

1) растворять извлекаемое вещество значительно лучше, чем вода, т. е. обладать высоким коэффициентом распределения;

2) обладать большой селективностью растворения. Чем меньше он будет растворять компоненты, которые должны остаться в сточной воде, тем более полно будут извлекаться вещества, которые необходимо удалить;

3) иметь по возможности наибольшую растворяющую способность по отношению к извлекаемому компоненту. Чем она выше, тем меньше потребуется экстрагента, т. е. тем ниже будут затраты на очистку;

4) иметь низкую растворимость в сточной воде и не образовывать устойчивых эмульсий, так как в противном случае снижается производительность установки, затрудняется разделение экстракта и рафината, увеличивается продолжительность этого процесса, а также возрастают потери растворителя;

5) значительно отличаться по плотности от сточной воды (обычно она меньше), поскольку только достаточная разность плотностей обеспечивает быстрое и полное разделение фаз;

6) обладать большим коэффициентом диффузии. Чем он больше, тем выше скорость массообмена, т. е. скорость процесса экстракции;

7) регенерироваться простым и дешевым способом;

8) иметь температуру кипения, значительно отличающуюся от температуры экстрагируемого вещества (для обеспечения легкости разделения), иметь небольшую удельную теплоту испарения и небольшую теплоемкость;

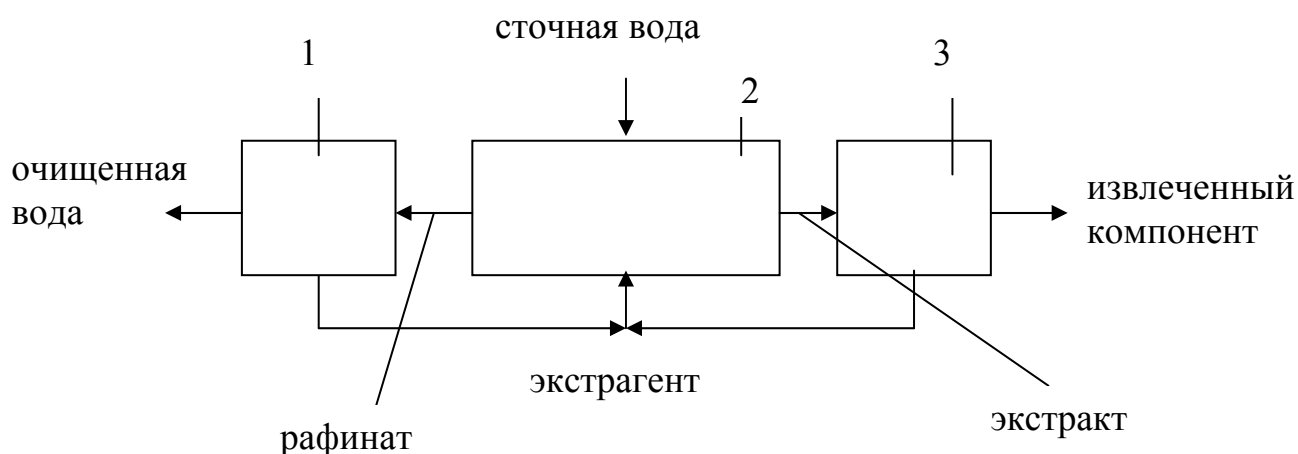
9) не взаимодействовать с извлекаемым веществом, так как это может затруднить регенерацию экстрагента и увеличить его потери;

10) по возможности не быть вредным, взрыво- и огнеопасным и не вызывать коррозию материала аппаратов, иметь небольшую стоимость.

Для извлечения экстрагента из экстракта с целью его возврата вновь в процесс экстракции необходимо провести его регенерацию с применением вторичной экстракции – с другим растворителем, а также выпариванием, дистилляцией, химическим взаимодействием или осаждением. Например, после извлечения какого-либо вещества можно использовать экстракт для технологических целей или в качестве топлива. Это целесообразно делать, когда они не представляют большой ценности.

Так как совершенно не растворимых в воде жидкостей нет, то в процессе экстракции часть экстрагента растворяется в сточной воде и становится ее новым загрязнителем, поэтому необходимо удалять экстракт из рафината. Это также необходимо производить и в целях сокращения потерь растворителя. Потери растворителя с рафинатом допустимы лишь при условии его растворимости в воде не выше ПДК, но только при его очень низкой стоимости. Наиболее распространенным способом извлечения растворителя из рафината является адсорбция или отгонка паром (газом). Для этой цели целесообразно использовать отработанный пар или отходящие дымовые газы.

Для очистки сточных вод наиболее часто применяют процессы непрерывной противоточной экстракции в соответствии с рисунком 15.



1 - система для удаления экстрагента из рафината; 2 – колонна (происходит смешивание); 3 - система для удаления экстрагента из экстракта.

Рисунок 15 – Схема непрерывной противоточной экстракции с регенерацией экстрагента из экстракта и рафината.

Экстракция производится в аппаратах различной конструкции: распылительных, насадочных, тарельчатых колонках, а также в центробежных

экстракторах.

### 3.5.2 Жидкостная экстракция

Жидкостная экстракция используется для извлечения металлов из сточных вод. В процессе жидкостной экстракции извлекаемые из сточной воды металлы переходят в органическую фазу, а затем в результате реэкстракции - из органической фазы в водный раствор. Таким образом достигается очистка сточных вод и концентрирование металла, т. е. создаются условия для его рекуперации.

Органическая фаза содержит экстрагент и органическую жидкость - растворитель экстрагента (керосин, бензол, хлороформ и толуол). В качестве экстрагентов используют органические кислоты, эфиры, спирты, кетоны и амины, а реэкстрагентов - водные растворы кислот и оснований.

Извлечение металлов из водной в органическую фазу проводят тремя способами:

1) катионообменной экстракцией - т. е. обменом экстрагирующегося катиона металла на катион экстрагента.

Катионообменная экстракция в общем виде описывается уравнением



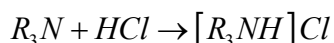
где  $Me$  металл валентностью  $z$ ;

$R$  - кислотный остаток органической кислоты.

Катионообменными экстрагентами являются карбоновые кислоты с числом углеродных атомов 7 до 9 ( $C_7-C_9$ ) и нафтеновые кислоты, которые получают из сырой нефти;

2) анионообменной экстракцией, т. е. обменом металлосодержащего в воде аниона на анион экстрагента.

В процессах анионообменной экстракции в качестве экстрагентов используют первичные  $RNH_2$ , вторичные  $R_2NH$  и третичные амины  $R_3N$ . В аминах азот имеет неподеленную пару электронов, что дает возможность образовывать координационные соединения:



Образующиеся при обработке кислотой соли аминов могут обменивать анион кислоты на металлсодержащие анионы, например



В щелочной среде амины могут находиться не в виде солей, способных обменивать анион, а в виде нейтральных молекул, поэтому их применяют только в кислых средах;

3) координационной экстракцией, при которой экстрагируемое соединение образуется в результате координации молекулы или иона экстрагента непосредственно с атомом (ионом) экстрагируемого металла.

К нейтральным или координационным экстрагентам относятся:

1) органические спирты общей формулы  $ROH$  (в углеродном радикале от 7 до 9 атомов углерода);

2) кетоны  $R_2CO$ , из которых наиболее широко используют метилизобутилкетон (гексон)  $CH_3COC_4H_9$ ;



3) простые эфиры  $R_2O$ ;

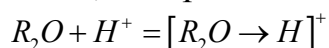
4) сложные эфиры, образующиеся при взаимодействии спиртов с неорганическими кислотами;

5) сульфоксид  $R_2SO$ .

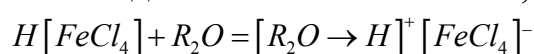
Все эти экстрагенты имеют группы, содержащие кислород, и являются полярными соединениями. Сущность подобных реакций состоит в том, что ион водорода в водных сильнокислотных растворах образует комплексный устойчивый ион - оксоний  $H_3O^+$ :  $H_2O + H^+ = [H_2O \rightarrow H]^+$

Стрелкой обозначена координационная связь.

Такие же комплексные положительно заряженные ионы образует ион водорода с органическими веществами, содержащими кислород:



Металл экстрагируется в виде комплексного аниона, например



### 3.6 Десорбция, дезодорация и дегазация сточных вод

3.6.1 Десорбция летучих примесей. Многие сточные воды загрязнены летучими неорганическими и органическими примесями, сероводородом, диоксидом серы, сероуглеродом, аммиаком и диоксидом углерода.

При пропускании воздуха или другого инертного малорастворимого в воде газа (азот, диоксид углерода, топочные дымовые газы) через сточную воду летучий компонент диффундирует в газовую фазу. Десорбция обусловлена более высоким парциальным давлением газа над раствором, чем в окружающем воздухе.

Процесс десорбции веществ из сточных вод инертными газами может быть проведен в тарельчатых, насадочных и распылительных колоннах. Наиболее интенсивно для тарельчатых колонн он протекает в пенном режиме, а для насадочных - в режиме эмульгирования.

Степень удаления летучих веществ из сточных вод увеличивается с ростом температуры газожидкостной смеси, коэффициента массоотдачи и поверхности контакта фаз. Десорбируемое из воды вещество направляют на адсорбцию или на каталитическое сжигание.

При небольших количествах отделяемого вещества и небольшой его стоимости, а также при условии трудного извлечения его из газовой фазы проводят каталитическое окисление. В этом случае воздух с парами извлекаемого вещества после колонны при температуре 280-350 °С пропускают через слой катализатора (пиролюзит, оксид хрома и др.). Большинство органических соединений в этом случае окисляется до  $CO_2$  и  $H_2O$ .

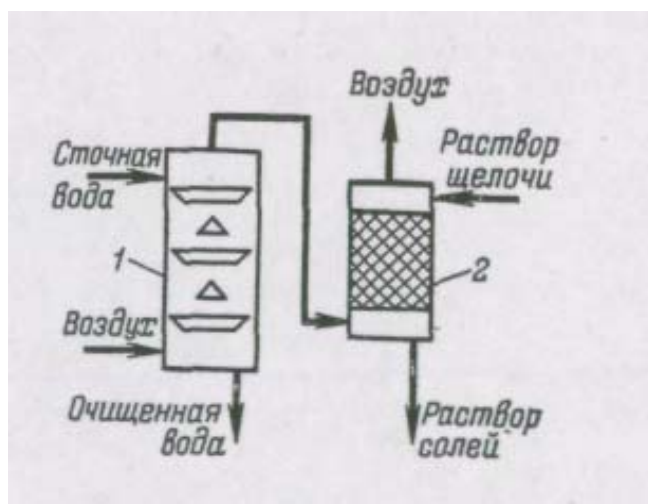
#### 3.6.2 Дезодорация

В некоторых сточных водах содержатся меркаптаны, амины, аммиак, сероводород, альдегиды и углеводороды, которые придают им дурной запах. Для очистки сточных вод, имеющих неприятный запах, можно использовать

различные способы: аэрацию, хлорирование, ректификацию, дистилляцию, обработку дымовыми газами, окисление кислородом под давлением, озонирование, экстракцию, адсорбцию и микробиологическое окисление. При выборе метода необходимо учитывать его эффективность и экономическую целесообразность.

Наиболее эффективным считается метод аэрации, который заключается в продувании воздуха через сточную воду. Процесс проводят в аппаратах различной конструкции. На схеме, в соответствии с рисунком 16, удаление дурнопахнущих веществ проводят в тарельчатой колонне каскадного типа. Сточная вода растекается в виде пленок по тарелкам, на которых происходит ее контакт с воздухом. Затем воздух с выделенными веществами поступает в насадочную колонну, которая орошается раствором щелочи.

Для очистки на 85-90 % необходимо иметь удельный расход 12-15 м<sup>3</sup> воздуха на 1 м<sup>3</sup> сточной воды, число тарелок - не менее 10, плотность орошения - 20-80 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч), концентрацию щелочи - не менее 40 г/л Н<sub>2</sub>О. Недостаток метода заключается, в том, что некоторые загрязнения не удаляются методом аэрации и остаются в сточной воде.

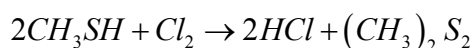
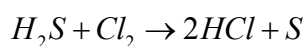


1 – тарельчатая колонна; 2 – насадочная колонна.

Рисунок 16 - Схема установки для дезодорации.

На некоторых предприятиях сточные воды, имеющие неприятный запах, очищают продувкой острым паром. В целлюлозной промышленности воды загрязнены серосодержащими соединениями, а кроме того, метанолом и скипидаром. Отдувка паром позволяет очищать воду и от этих веществ. Основным аппаратом для обработки сточных вод паром является колонна с колпачковыми или сетчатыми тарелками. Степень очистки от сероводорода и метилмеркаптана приближается к 100 %, от других веществ - к 90 %. Расход пара на 1 м<sup>3</sup> сточной воды составляет 60 кг, для уменьшения расхода пара сточную воду подогревают.

Промышленное применение имеет и хлорирование сточных вод. При этом происходит окисление хлором серосодержащих соединений. В случае недостатка хлора образуется диметилдисульфид с неприятным запахом:

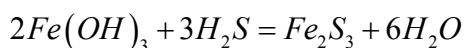


Очистку сточных вод от сероводорода окислением кислородом воздуха при атмосферном давлении в присутствии катализатора (железная стружка, графитовые материалы и др.) проводят в аэрационном бассейне, куда подают сжатый воздух. Большая часть сероводорода при этом окисляется до элементарной серы, а другая часть отдувается воздухом. Вода очищается от серы, а воздух с сероводородом поступает на очистку в адсорбер с активным углем. После насыщения уголь регенерируют сульфатом аммония. При окислении продолжительностью 60-90 минут и расходе воздуха 10-12 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> степень очистки воды достигает 95-97 %.

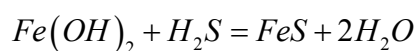
Высокая степень очистки может быть достигнута при использовании жидкофазного окисления сернистых веществ кислородом воздуха под давлением. Окисление сероводорода в щелочной среде при этом происходит до тиосульфата и сульфата натрия, а метилмеркаптана и диметилдисульфида - до метансульфокислоты.

Сероводород из воды возможно удалить гидроксидом железа по реакциям:

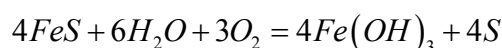
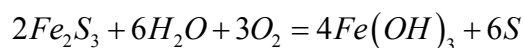
а) в щелочной среде



б) в нейтральной среде



После отстаивания проводится регенерация образующихся сульфидов железа:



Для удаления запахов из сточных вод могут быть использованы процессы озонирования и адсорбции. Однако более эффективно происходит очистка при одновременном введении в воду озона или диоксида хлора и фильтровании воды через слой активного угля.

### 3.6.3 Дегазация

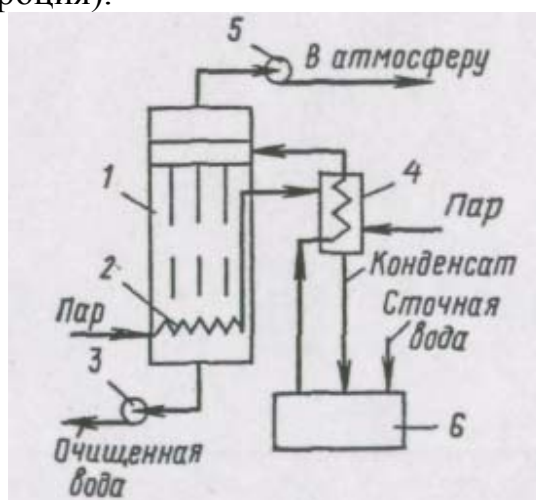
Присутствие в сточных водах растворенных газов затрудняет очистку и использование сточных вод, усиливает коррозию трубопроводов и аппаратуры, придает воде неприятный запах. Растворенные газы из воды удаляют дегазацией, которую осуществляют химическими, термическими и десорбционными (аэрационными) методами.

Для удаления из воды диоксида углерода используют методы аэрации, проводимые в пленочных, насадочных, барботажных и вакуумных дегазаторах. Пленочные дегазаторы - колонны с различного вида насадками, работающие в условиях противотока дегазируемой воды и воздуха, подаваемого вентилятором. Дегазаторы струйно-пленочного типа представляют собой градирни без принудительной подачи воздуха. Из дегазаторов барботажного типа наиболее эффективны пенные аппараты.

Вакуумные дегазаторы - насадочные колонны, работающие под вакуумом, в которых вода равномерно распределяется по поверхности насадки. Наиболее полная дегазация достигается при разбрызгивании в вакууме и одновременном подогреве воды в соответствии с рисунком 17. Воду нагревают паром в котле. Пар из змеевика попадает в теплообменник, где вода подогревается. Вакуум создают отсасыванием дегазованной воды насосом.

Выбор типа дегазатора зависит от производительности установки, концентрации удаляемого газа и необходимой степени дегазации.

При термической дегазации воды от растворенного диоксида углерода или кислорода пропускают пар через воду и нагревают ее до температуры кипения при внешнем давлении. В этом случае парциальное давление газа над водой снижается до нуля и растворимость его также падает до нуля. Вследствие нарушения равновесия в системе происходит выделение избыточных газов из воды (физическая десорбция).



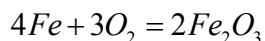
1 - котел; 2 - змеевик; 3 - насос; 4 - теплообменник; 5 – вакуум насос; 6 – емкость.

Рисунок 17 - Схема установки для дегазации в вакууме с подогревом.

Для интенсивной дегазации необходимо, чтобы вода непрерывно контактировала с новыми порциями пара при большой поверхности контакта фаз в течение достаточного времени. Температура воды должна быть близка к температуре насыщенного пара при данном давлении. Процесс проводят в аппаратах, называемых деаэраторами. Они имеют разную конструкцию и работают под вакуумом, при атмосферном или повышенном давлении.

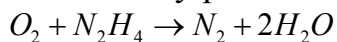
Химические методы дегазации применяют при низкой концентрации газов в воде или в случае нецелесообразности их использования, а также при условии, что продукты обработки не затрудняют дальнейшую очистку или использование воды. Методы связаны с проведением реакций, в результате которых происходит химическое связывание растворенных газов.

Для удаления кислорода из воды, ее фильтруют через легкоокисляющиеся стальные стружки. Содержание марганца в них не должно превышать 0,3 %. При фильтровании воды железо окисляется:



Время контактирования зависит от температуры и при 20-80 °С равно 25-30 мин. Образовавшиеся оксиды железа удаляют обратной промывкой.

Лучшим обескислороживающим воду реагентом является гидразин:



Катализатором служит металлическая медь, стекло или активный уголь. На 1 г  $O_2$  требуется 1 г  $N_2H_4$ . Однако гидразин отличается высокой стоимостью, поэтому метод является дорогим.

### 3.7 Электрохимические методы очистки сточных вод

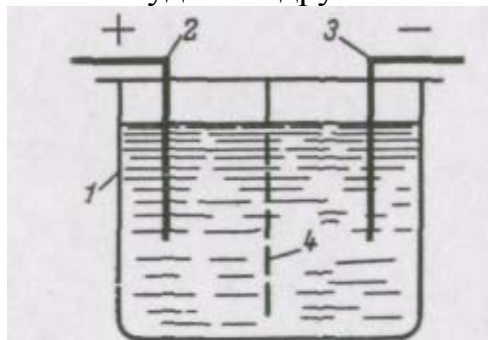
Для очистки сточных вод от различных растворимых и диспергированных примесей применяют процессы анодного окисления и катодного восстановления, электрокоагуляции, электрофлокуляции и электродиализа. Все эти процессы протекают на электродах при пропускании через сточную воду постоянного электрического тока. Электрохимические методы позволяют извлекать из сточных вод ценные продукты при относительно простой автоматизированной технологической схеме очистки и без использования химических реагентов. Основным недостатком этих методов является большой расход электроэнергии.

Очистку сточных вод электрохимическими методами можно проводить периодически или непрерывно.

#### 3.7.1 Анодное окисление и катодное восстановление.

Анодное окисление и катодное восстановление осуществляется в электролизере, в соответствии с рисунком 18. На положительном электроде - аноде ионы отдают электроны, т. е. протекает реакция электрохимического окисления; на отрицательном электроде - катоде происходит присоединение электронов, т. е. протекает реакция восстановления.

Эти процессы разработаны для очистки сточных вод от растворенных примесей (цианидов, роданидов, аминов, спиртов, альдегидов, нитросоединений, сульфидов и меркаптанов). В процессах электрохимического окисления вещества, находящиеся в сточных водах, полностью распадаются с образованием  $CO_2$ ,  $NH_3$  и воды или образуются более простые и нетоксичные вещества, которые можно удалять другими методами.



1 - корпус; 2 - анод; 3 - катод; 4 - диафрагма.

Рисунок 18 - Схема электролизера.

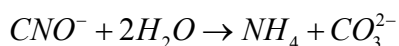
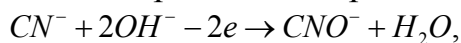
В качестве анодов используют различные электролитически нерастворимые материалы: графит, магнетит, диоксиды свинца, марганца и рутения, которые наносят на титановую основу.

Катоды изготовляют из молибдена, сплава вольфрама с железом или никелем, из графита, нержавеющей стали и других металлов, покрытых молибденом, вольфрамом или их сплавами.

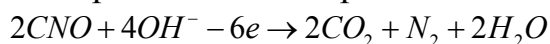
Процесс проводят в электролизерах с диафрагмой и без нее. Кроме основных процессов электроокисления и восстановления, одновременно могут протекать электрофлотация, электрофорез и электрокоагуляция.

Сточные воды, содержащие цианиды, образуются на предприятиях машиностроения, приборостроения, черной и цветной металлургии и химической промышленности. Обычно рН таких стоков колеблется в пределах 8-12.

Анодное окисление цианидов протекает по реакциям

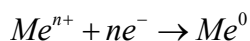


Окисление может быть проведено и с образованием азота:



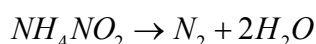
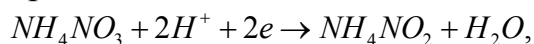
В этом процессе используют графитовый анод и стальной катод. Степень очистки приближается к 100 %.

Катодное восстановление применяют для удаления из сточных вод ионов металлов с получением осадков, для перевода загрязняющего компонента в менее токсичные соединения или в легко выводимую из воды форму (осадок или газ). Его можно использовать для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов  $Pb^{2+}$ ,  $Sn^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $As^{3+}$  и  $Cr^{6+}$ . Катодное восстановление металлов происходит по схеме



Например, очистку сточных вод от ионов  $Pb^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  проводят на катодах, состоящих из смеси угольного и сернистого порошков в соотношении С:S от 80:20 до 20:80 при рН<7. Осаждение этих ионов происходит в виде нерастворимых сульфидов или дисульфидов, которые удаляют механически.

Примером реакции, обеспечивающей удаление загрязнения в газовую фазу, является очистка сточных вод от нитрата аммония. При восстановлении нитрата аммония на графитовом электроде он превращается в нитрит аммония, который разлагается при нагревании до элементарного азота:



### 3.7.2 Электрокоагуляция

Для очистки промышленных сточных вод, содержащих высокоустойчивые загрязнения, проводят электролиз с использованием растворимых стальных или алюминиевых анодов. Под действием тока происходит растворение металла, в результате чего в воду переходят катионы железа или алюминия, которые встречаясь с гидроксидными группами,

образуют гидроксиды металлов в виде хлопьев. Наблюдается интенсивная коагуляция.

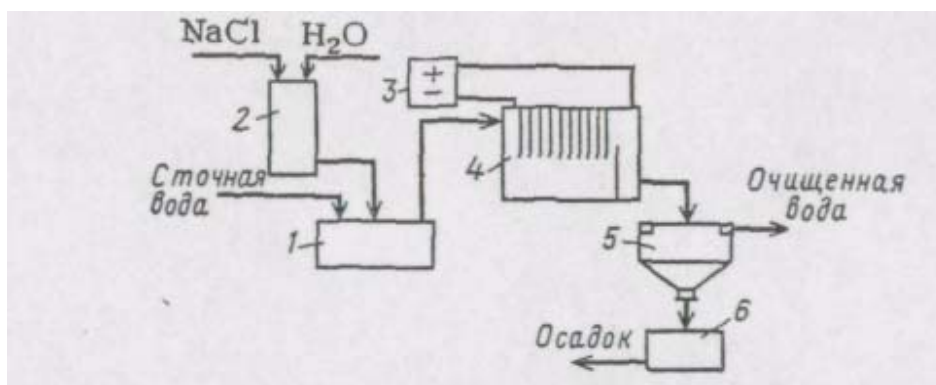
На процесс электрокоагуляции оказывает влияние материал электродов, расстояние между ними, скорость движения сточной воды между электродами, ее температура и состав, напряжение и плотность тока. С повышением концентрации взвешенных веществ более 100 мг/л эффективность электрокоагуляции снижается.

Достоинства метода электрокоагуляции:

- компактность установок и простота управления;
- отсутствие потребности в реагентах;
- малая чувствительность к изменениям условий проведения процесса очистки (температура, рН среды, присутствие токсичных веществ);
- получение шлама с хорошими структурно-механическими свойствами.

Недостатком метода является повышенный расход металла и электроэнергии. Электрокоагуляция находит применение в пищевой, химической и целлюлозно-бумажной промышленности.

Технологическая схема очистки сточных вод электрокоагуляцией показана на рисунке 19.



1 - усреднитель; 2 - бак для приготовления раствора; 3 - источник постоянного тока; 4 - электрокоагулятор; 5 - отстойник; 6 - аппарат для обезвоживания осадка.

Рисунок 19 - Схема электрокоагуляционной установки.

Обезвоживание осадка проводят в фильтр-прессе или центрифуге. Выделяющийся в процессе газообразный водород можно использовать для флотации гидроксида. С этой целью в схеме очистки используют электрокоагуляторы-флотаторы или специальные флотационные аппараты, например гидроциклоны-флотаторы. Замена отстойника на флотаторы позволяет значительно уменьшить габариты установки, сократить капитальные затраты и получить менее влажный осадок гидроксида.

Электрокоагуляционную очистку сточных вод можно использовать для очистки от эмульсий нефтепродуктов, масел и жиров (электрокоагулятор представляет собой ванну с электродами). Эффективность очистки от нефтепродуктов составляет: от масел 54-68 %, от жиров 92-99 %.

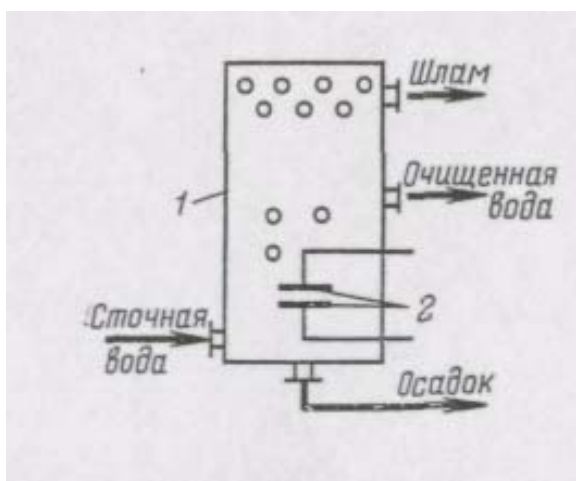
На практике наиболее широко используют безнапорные пластинчатые электрокоагуляторы, направление движения жидкости в которых может быть горизонтальным и вертикальным. Они могут быть однопоточными, многопоточными и смешанными. При многопоточной схеме движения вода проходит одновременно через промежутки между электродами (параллельное соединение каналов). При однопоточной схеме вода проходит между электродами последовательно (последовательное соединение каналов). Скорость движения воды у однопоточных электрокоагуляторов в  $n-1$  раз больше, чем у многопоточных ( $n$  - число электродов).

### 3.7.3 Электрофлотация

В этом процессе очистка сточных вод от взвешенных частиц происходит при помощи пузырьков газа, образующихся при электролизе воды. На аноде возникают пузырьки кислорода, а на катоде - водорода. Поднимаясь в сточной воде, эти пузырьки флотируют взвешенные частицы. При использовании растворимых электродов происходит образование хлопьев коагулянтов и пузырьков газа, что способствует более эффективной флотации.

Основную роль при электрофлотации играют пузырьки, образующиеся на катоде. Размер пузырьков водорода значительно меньше, чем при других методах флотации. Диаметр пузырьков меняется от 20 до 100 мкм. Мелкие пузырьки водорода обладают большей растворимостью, чем крупные. Из пересыщенных растворов мельчайшие пузырьки выделяются на поверхности частичек загрязнений и тем самым способствуют эффекту флотации. Для получения пузырьков требуемого размера необходим правильный подбор материала, диаметра проволоки катода и плотности тока.

При небольших объемах сточных вод (10-15 м<sup>3</sup>/ч) электрофлотационные установки могут быть однокамерными, в соответствии с рисунком 20, при больших - следует применять двухкамерные установки, которые могут быть горизонтальными и вертикальными. Они состоят из электродного отделения и отстойной части.



1 - корпус; 2 - электроды.

Рисунок 20 - Схема однокамерной электрофлотационной установки.

### 3.7.4 Электродиализ.



Процесс очистки сточных вод электродиализом основан на разделении ионизированных веществ под действием электродвижущей силы, создаваемой в растворе по обе стороны мембран. Этот процесс широко используют для опреснения соленых вод. В последнее время его начали применять и для очистки промышленных сточных вод.

Процесс проводят в электродиализаторах, простейшая конструкция которых состоит из трех камер, отделенных одна от другой мембранами, в соответствии с рисунком 21(а). В среднюю камеру заливают раствор, а в боковые, где расположены электроды, - чистую воду. Анионы током переносятся в анодное пространство. На аноде выделяется кислород и образуется кислота. Одновременно катионы переносятся в катодное пространство. На катоде выделяется водород и образуется щелочь. По мере прохождения тока концентрация солей в средней камере уменьшается до тех пор, пока не станет близкой к нулю.

За счет диффузии в среднюю камеру поступают ионы  $H^+$  и  $OH^-$ , образуя воду. Этот процесс замедляет перенос ионов соли к соответствующим электродам.

При использовании электрохимически активных (ионообменных) диафрагм повышается эффективность процесса и снижается расход электроэнергии. Ионообменные мембраны проницаемы только для ионов, имеющих заряд того же знака, что и у подвижных ионов.

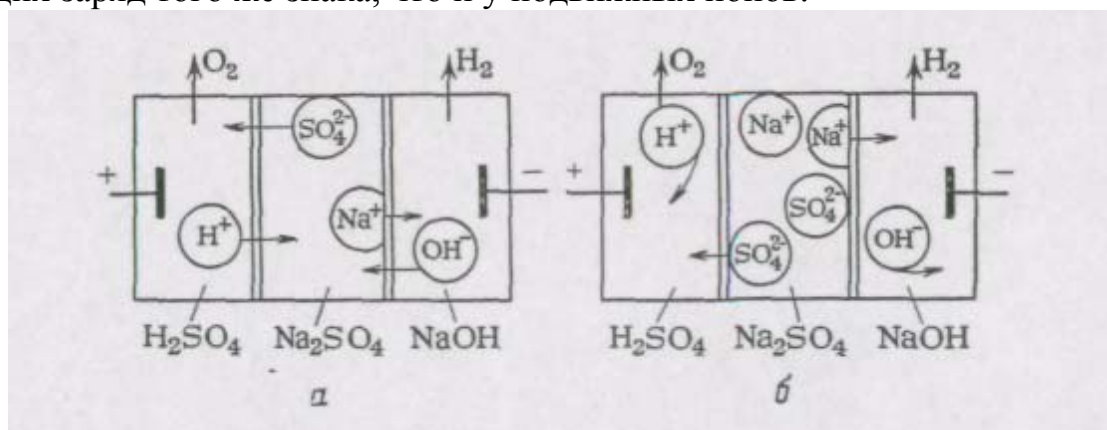


Рисунок 21 - Схемы электродиализаторов с пористыми диафрагмами (а) и ионитовыми мембранами (б).

В электродиализаторе, в соответствии с рисунком 21 (б), имеется две мембраны. Одна из них - анионообменная и пропускает в анодную зону анионы. Другая мембрана - катионообменная расположена со стороны катода и пропускает катионы в катодное пространство.

Обычно электролизеры для очистки воды делают многокамерными (100 - 200 камер) с чередующимися катионо- и анионопроницаемыми мембранами. Электроды помещают в крайних камерах.

Для обессоливания воды применяют гомогенные и гетерогенные мембраны. Гомогенные мембраны состоят только из одной смолы и имеют малую механическую прочность. Гетерогенные мембраны представляют собой порошок ионита, смешанный со связующим веществом - каучуком,

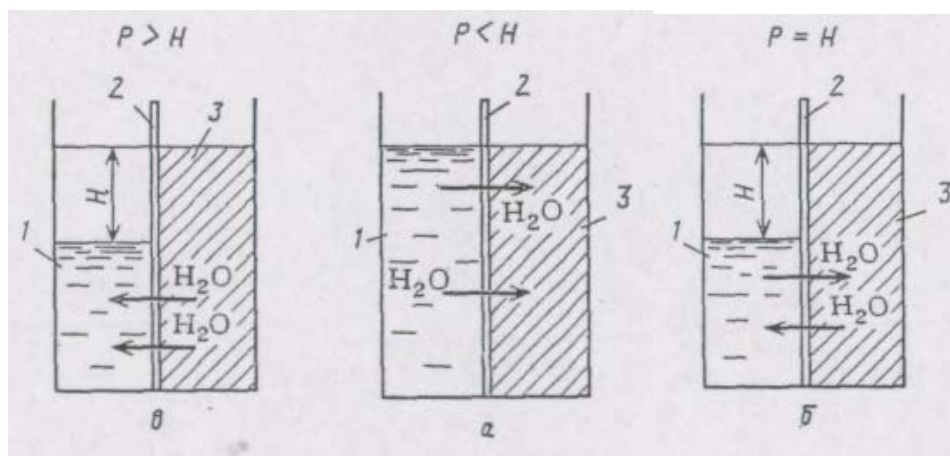
полистиролом и метилмеркаптаном. Из этой смеси вальцеванием получают пластины. Мембраны должны обладать малым электрическим сопротивлением.

На эффективность работы электродиализатора большое влияние оказывает расстояние между мембранами. Обычно оно составляет 1-2 мм. Во избежание засорения мембран сточные воды перед подачей в электродиализатор должны быть очищены от взвешенных и коллоидных частиц.

Основным недостатком электродиализа является концентрационная поляризация, приводящая к осаждению солей на поверхности мембран и снижению показателей очистки.

### 3.8 Мембранные методы очистки сточных вод. Обратный осмос и ультрафильтрация

Обратным осмосом и ультрафильтрацией называют процессы фильтрования растворов через полупроницаемые мембраны под давлением, превышающим осмотическое давление (рисунок 22). Мембраны пропускают молекулы растворителя, задерживая растворенные вещества. При обратном осмосе отделяются частицы (молекулы и гидратированные ионы), размеры которых не превышают размеров молекул растворителя.



1 - чистая вода; 2 - мембрана; 3 – раствор.

а - прямой осмос; б - осмотическое равновесие; в - обратный осмос.

Рисунок 22 - Схемы осмоса ( $H$  - осмотическое давление;  $P$  - рабочее давление).

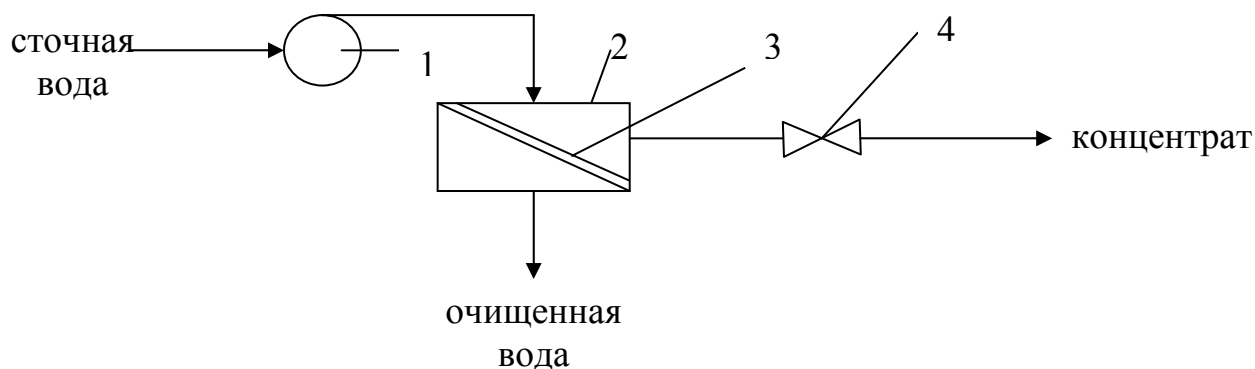
При ультрафильтрации размер отдельных частиц на порядок больше (таблица 2).

Таблица 2 – Граничные условия для проведения мембранных процессов.

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

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

Обратный осмос широко используется для обессоливания воды в системах водоподготовки ТЭЦ и предприятий различных отраслей промышленности (полупроводников, кинескопов и медикаментов). Простейшая установка обратного осмоса состоит из насоса высокого давления и модуля (мембранного элемента), соединенных последовательно, в соответствии с рисунком 23.



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

Рисунок 23 - Схема установки обратного осмоса.

Достоинствами метода являются:

- отсутствие фазовых переходов при отделении примесей, что позволяет вести процесс при небольшом расходе энергии;
- возможность проведения процесса при комнатных температурах без применения или с небольшими добавками химических реагентов;
- простота конструкций аппаратуры.

Недостатки метода:

- возникновение явления концентрационной поляризации, которое заключается в росте концентрации растворенного вещества у поверхности мембраны. Это приводит к уменьшению производительности установки, степени разделения компонентов и срока службы мембран;
- проведение процесса при повышенных давлениях, что вызывает необходимость специальных уплотнений аппаратуры.

Эффективность процесса зависит от свойств применяемых мембран. Они должны обладать следующими достоинствами:

- высокой разделяющей способностью (селективностью);
- большой удельной производительностью (проницаемостью);
- устойчивостью к действию среды;
- неизменностью характеристик в процессе эксплуатации;
- достаточной механической прочностью и низкой стоимостью.

Селективность процесса разделения (в %) определяют по формуле:

$$\varphi = 100(c_0 - c_\phi) / c_0$$

где  $c_0$  и  $c_\phi$  - концентрации растворенного вещества соответственно в исходной сточной воде и фильтрате.

Проницаемость мембраны определяется количеством фильтрата, полученного в единицу времени с единицы рабочей поверхности:

$$V_\phi = k_1 (\Delta P - \Delta P_0)$$

где  $\Delta P$  - разность давлений воды до и после мембраны;

$\Delta P_0$  - разность осмотических давлений;

$k_1$  - коэффициент пропорциональности, зависящий от проницаемости мембраны.

В процессе очистки некоторое количество растворенного вещества проходит через мембрану вместе с водой (это называется проскоком). Для мембран с высоким эффектом разделения этот проскок  $S$  [в кг/(м<sup>2</sup>·сут)] практически не зависит от давления и может быть определен по формуле ( $k_2$  - константа для мембран):

$$S = k_2 (c_0 - c_\phi)$$

Из формулы следует, что чем больше концентрация загрязнений в исходной сточной воде, тем выше интенсивность проникания веществ через мембрану.

Предложено несколько вариантов механизма обратного осмоса. По одному из них мембраны собирают воду, которая в поверхностном слое не обладает растворяющей способностью. Если толщина слоя адсорбированных молекул воды составляет половину или более половины диаметра пор мембран, то под давлением через поры будет проходить только чистая вода, несмотря на то, что размер многих ионов меньше, чем размер молекул воды. Прониканию (проницанию) таких ионов через поры препятствует возникающая у них гидратная оболочка. Размер гидратных оболочек различен у разных ионов. Если толщина адсорбированного слоя молекул воды меньше половины диаметра пор, то вместе с водой через мембрану будут проникать и растворенные вещества.

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

Для проведения процесса применяют непористые - динамические и диффузионные мембраны, представляющие собой гели, и пористые мембраны в

виде тонких пленок, изготовленные из полимерных материалов. Наибольшее распространение получили полимерные мембраны из ацетатцеллюлозы. Разрабатываются мембраны из полиэтилена, политетрафторэтилена и пористого стекла.

Ацетатцеллюлозные мембраны, применяемые для обратного осмоса, имеют верхний активный слой, толщиной до 0,25 мкм, являющийся слоем, в котором происходит разделение, а нижний - крупнозернистый слой (100-200 мкм) обеспечивает механическую прочность мембран. Ацетатцеллюлозные мембраны устойчиво работают в интервале давлений 1-8 МПа, температур 0-30 °С и рН=3-8.

Процесс мембранного разделения зависит от давления, гидродинамических условий и конструкции аппарата, природы и концентрации сточных вод, содержания в них примесей, а также от температуры. Увеличение концентрации раствора приводит к росту осмотического давления растворителя, повышению вязкости раствора и росту концентрационной поляризации, т. е. к снижению проницаемости и селективности.

Природа растворенного вещества оказывает влияние и на селективность. При одинаковой молекулярной массе неорганические вещества задерживаются на мембране лучше, чем органические. С повышением давления удельная производительность мембран увеличивается, так как растет движущая сила процесса. Однако при высоких давлениях происходит уплотнение материала мембран, что вызывает снижение проницаемости, поэтому для каждого вида мембран устанавливают максимальное рабочее давление.

С ростом температуры уменьшаются вязкость и плотность раствора, что способствует росту проницаемости. Однако при этом повышается осмотическое давление, которое уменьшает проницаемость. Кроме того, при повышении температуры начинается усадка и стягивание пор мембраны (что приводит к уменьшению проницаемости), а также возрастает скорость гидролиза, сокращая срок службы мембран. Ацетатцеллюлозные мембраны при 50 °С разрушаются, поэтому необходимо работать при температуре 20-30 °С.

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

По способу укладки мембран аппараты подразделяются на четыре основные типа:

- 1) типа фильтр-пресс с плоскопараллельными фильтрующими устройствами;
- 2) с трубчатыми фильтрующими элементами;
- 3) с рулонными или спиральными элементами;
- 4) с мембранами в виде полых волокон.

Используя обратный осмос и ультрафильтрацию, можно концентрировать и разделять растворенные совместно в сточной воде органические и неорганические вещества. Например, по одной из схем, в соответствии с рисунком 24, в процессе ультрафильтрации получают

концентрат, содержащий органические вещества, а в процессе обратного осмоса - концентрат неорганических веществ и чистую воду.

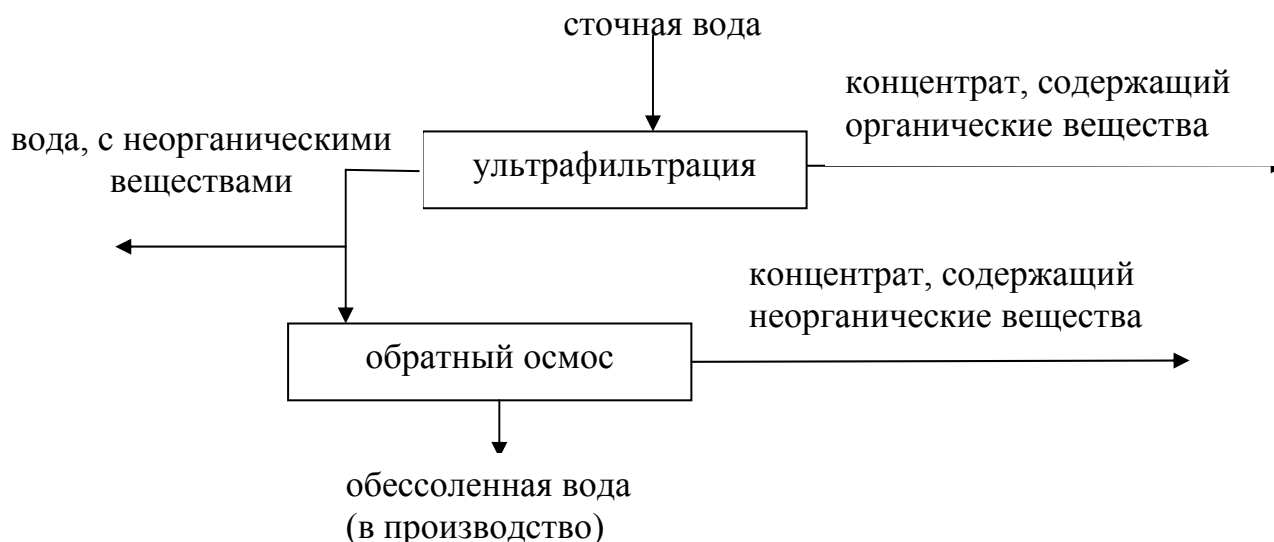


Рисунок 24 - Блок-схема установки разделения органических и неорганических веществ.

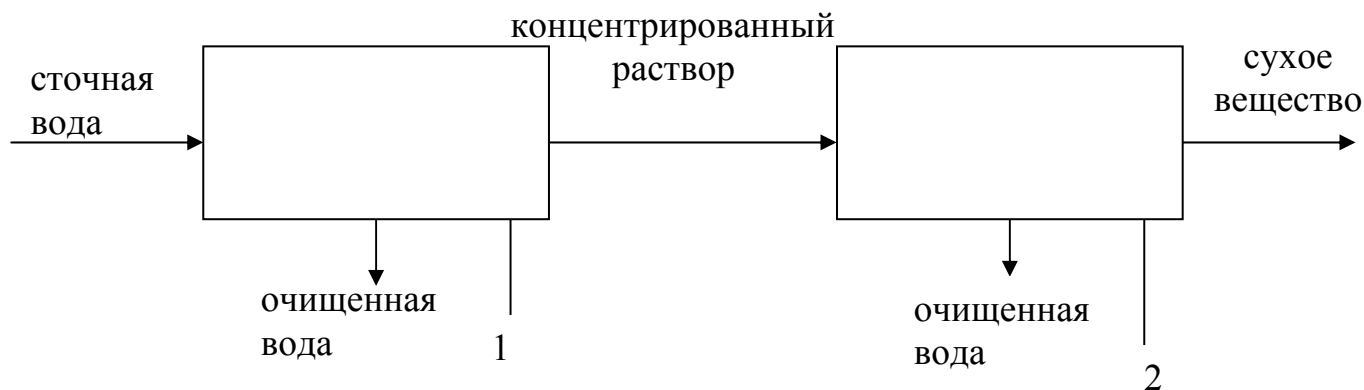
### 3.9 Очистка сточных вод, основанная на фазовых переходах

Сточные воды, содержащие органические вещества, а также соли кальция, магния, натрия и калия (минеральные соли) могут быть обезврежены термическими методами. К термическим методам относят:

- концентрирование сточных вод с последующим выделением растворенных веществ;
- окисление в присутствии катализатора;
- жидкофазное окисление;
- огневое обезвреживание.

#### 3.9.1 Концентрирование сточных вод

Этот метод используется для удаления из сточных вод минеральных солей. Процесс протекает в две стадии: концентрирование, в результате чего образуется концентрированный раствор и очищенная вода, и выделение сухого вещества, в соответствии с рисунком 25.



1 – концентрирование; 2 – выделение сухого вещества.

Рисунок 25 – Схема процесса концентрирования сточных вод.

На рисунке 26 представлена классификация установок термического концентрирования.

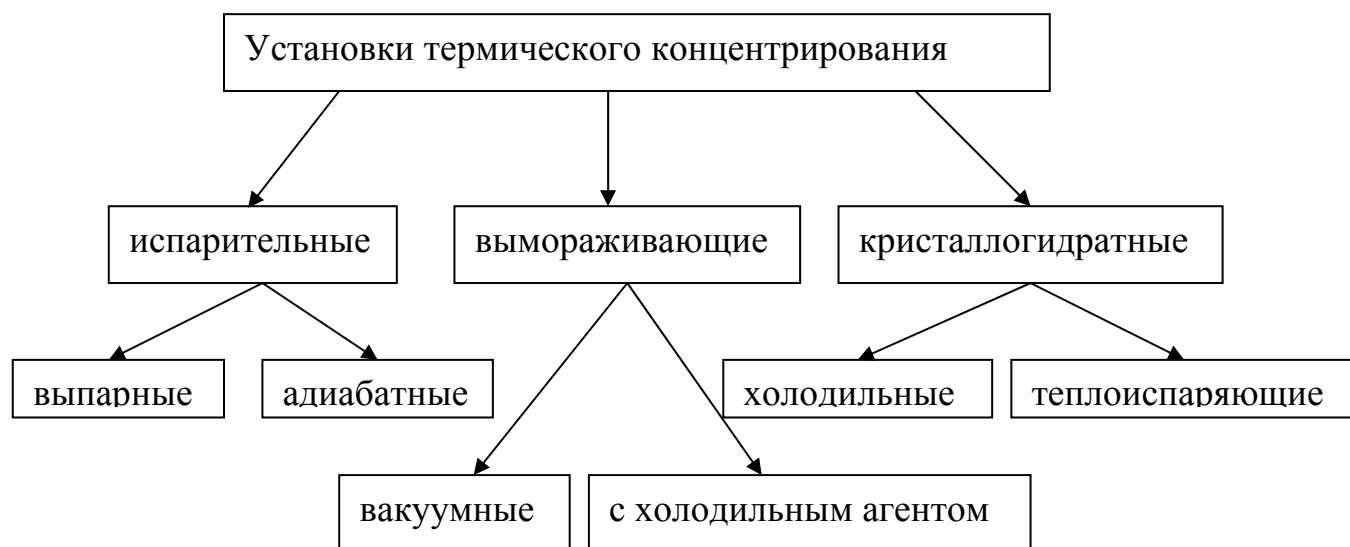


Рисунок 26 - Классификация установок термического концентрирования.

Процесс выпаривания является энергоемким. Все выпарительные установки имеют основной элемент – испаритель и вспомогательное оборудование – конденсатор, теплообменник, насосы и самоиспарители. Чаще всего используют выпарные установки с гидрофобным теплоносителем. В таких установках нагревание и испарение сточных вод происходит вследствие их контакта с жидким гидрофобным теплоносителем.

В качестве теплоносителя используют различные виды парафина и масел. Гидрофобный теплоноситель должен практически не растворяться в воде, хорошо отделяться от воды, быть термически устойчивым и обладать большой теплоемкостью.

Поступающую на концентрирование сточную воду смешивают с рециркулирующим раствором и направляют в контактный теплообменник, где она нагревается от гидрофобного теплоносителя. После этого вода поступает в адиабатный испаритель, откуда концентрированный раствор отводят насосом. Пары сточных вод поступают в конденсатор, где сточная вода соприкасается с дистиллятом конденсата. Дистиллят затем направляется в теплообменник, где отдает тепло гидрофобному теплоносителю.

Основной недостаток этого метода заключается в трудности отделения дистиллята от раствора, что приводит к ухудшению качества воды.

### 3.9.2 Вымораживание

Процесс заключается в том, что при температуре ниже температуры замерзания чистая вода образует кристаллы пресного льда, а рассол с растворенными примесями размещается в ячейках между кристаллами.

Температура заморозки рассола всегда ниже температуры заморозки чистой воды.

Если снижение температуры в процессе замораживания идет медленно, то образуются сравнительно крупные кристаллы со значительно меньшим количеством включений, содержащих рассол.

Разность между температурой заморозки чистого растворителя и раствора называется понижением температуры заморозки:  $\Delta t = t'_3 - t_3$ ,

где  $t'_3$  - температура заморозки чистого растворителя;

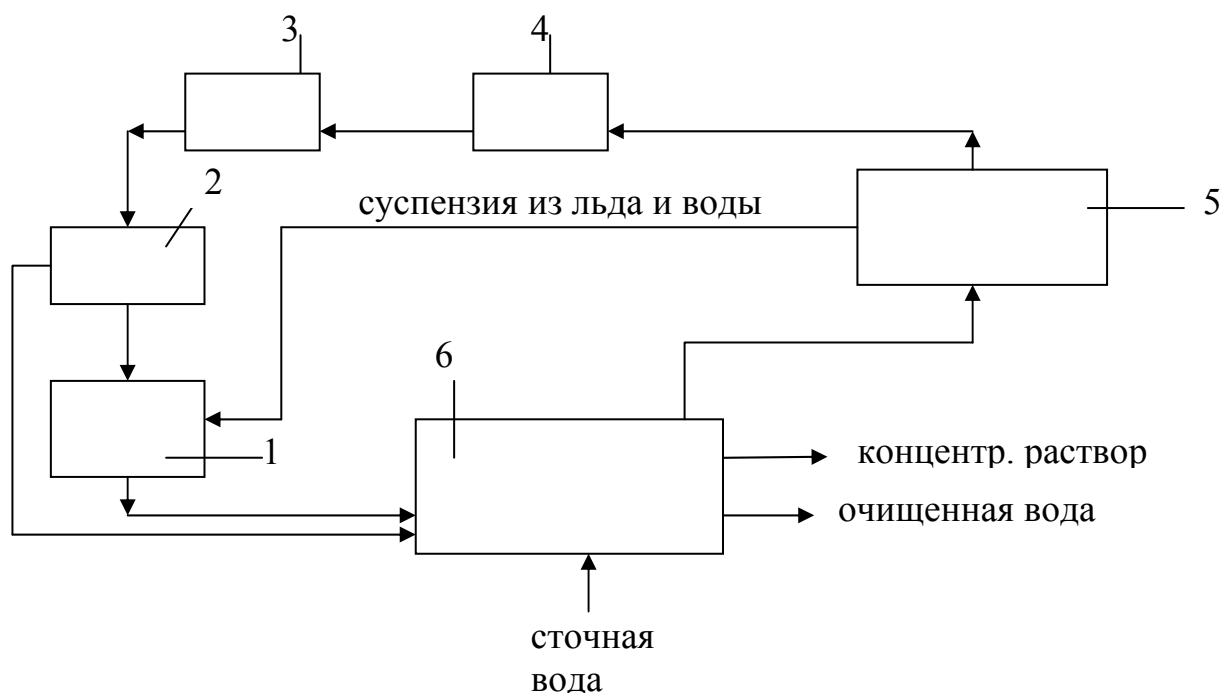
$t_3$  - температура заморозки раствора.

Понижение температуры заморозки прямо пропорционально концентрации раствора:  $\Delta t_3 = k \cdot m$ ,

где  $k$  - криоскопическая константа растворителя (зависит от природы растворителя), для воды  $k=1,85$ ;

$m$  - молярная концентрация раствора.

При вымораживании под вакуумом сточная вода поступает в теплообменник, где охлаждается уже очищенной водой, в соответствии с рисунком 27. Далее охлажденную воду направляют в кристаллизатор, куда добавляют хладагент. В качестве хладагентов используют хладоны ( $\text{CCl}_3\text{F}$ ,  $\text{CCl}_2\text{F}_2$ ,  $\text{CClF}_3$ ).



1 – промывная колонна; 2 – конденсатор-испаритель; 3 – вспомогательная холодильная установка; 4 – компрессор; 5 – кристаллизатор; 6 – теплообменник.

Рисунок 27 - Схема установки концентрирования раствора вымораживанием под вакуумом.

Вымораживание раствора могут также вести при прямом контакте с хладагентом, в результате этого образуется суспензия из льда и воды (при



испарении). Эта суспензия поступает в промывную колонну. Воду из кристаллизатора направляют в вспомогательную холодильную установку, затем в конденсатор-испаритель, где происходит отделение растворенного вещества. Оттуда вода поступает в теплообменник.

### 3.9.3 Кристаллизация

Вещества, растворимость которых существенно повышается с возрастанием температуры, кристаллизуются при охлаждении их насыщенных растворов. Эта кристаллизация называется политермической, а данные вещества обладают положительной растворимостью. Если с ростом температуры растворимость веществ уменьшается, то кристаллизацию проводят при нагревании раствора, то есть данные вещества обладают отрицательной растворимостью.

Вещества, растворимость которых мало зависит от температуры, кристаллизуются путем испарения воды при постоянной температуре.

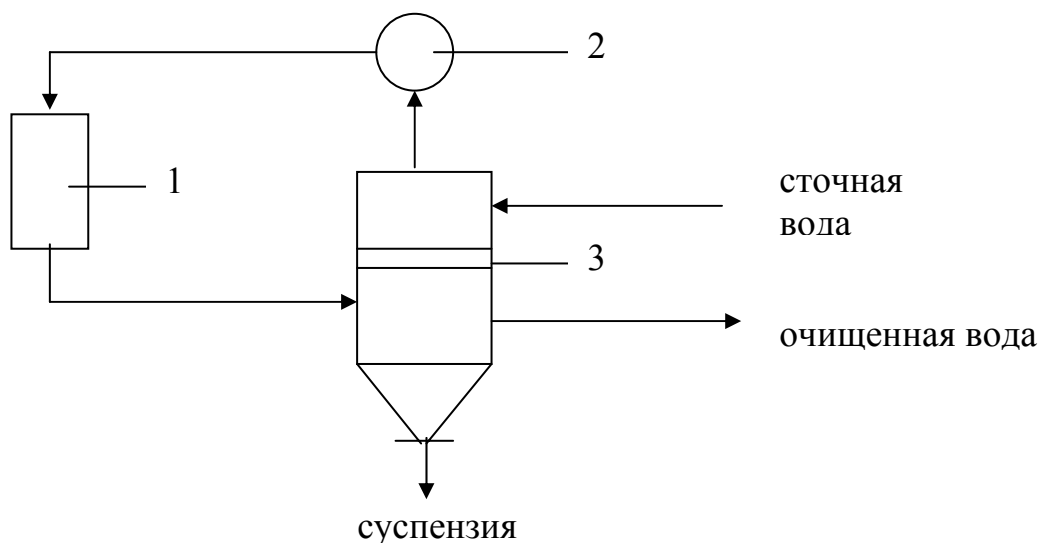
Кристаллизацию можно также проводить путем введения в раствор веществ, уменьшающих их растворимость. Эти вещества содержат ион, одинаковый с ионом данной соли. Кристаллизацию такого типа называют высаливанием.

Процесс кристаллизации протекает в две стадии:

- 1) возникновение в перенасыщенном растворе центров кристаллизации (зародышей кристаллов);
- 2) рост кристаллов на базе этих зародышей.

Для кристаллизации растворов с положительной растворимостью используют кристаллы с водяным или воздушным охлаждением (холодильные кристаллогидратные установки).

Для растворов с отрицательной растворимостью используют термоумягчители, в соответствии с рисунком 28. Здесь раствор нагревается горячим воздухом, после этого образующиеся кристаллы отводятся в виде суспензии.



1 – нагреватель; 2 – воздухоподушка; 3 – барботажный аппарат.

Рисунок 28 – Схема термоумягчителя.

### 3.10 Химические методы очистки сточных вод

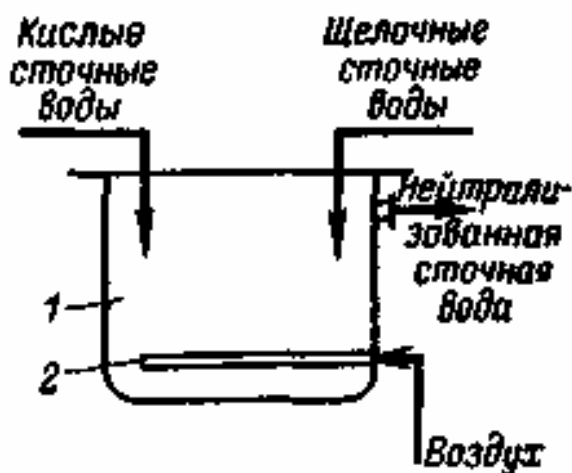
К химическим методам очистки сточных вод относят нейтрализацию, окисление и восстановление. Все эти методы связаны с расходом различных реагентов, поэтому дороги. Их применяют для удаления растворимых веществ и в замкнутых системах водоснабжения. Химическую очистку проводят иногда как предварительную перед биологической очисткой или после нее, как метод доочистки сточных вод.

#### 3.10.1 Нейтрализация

Сточные воды, содержащие минеральные кислоты или щелочи, перед сбросом их в водоемы или перед использованием в технологических процессах нейтрализуют. Практически нейтральными считаются воды, имеющие  $pH=6,5-8,5$ . Нейтрализацию можно проводить различным путем: смешением кислых и щелочных сточных вод, добавлением реагентов, фильтрованием кислых вод через нейтрализующие материалы, абсорбцией кислых газов щелочными водами или абсорбцией аммиака кислыми водами. Выбор метода нейтрализации зависит от объема и концентрации сточных вод, от режима их поступления, наличия и стоимости реагентов.

1 Нейтрализация смешением. Этот метод применяют, если на одном предприятии или на соседних предприятиях имеются кислые и щелочные воды, не загрязненные другими компонентами. Кислые и щелочные воды смешивают в емкости, в соответствии с рисунком 29, с мешалкой и без мешалки. В последнем случае перемешивание ведут воздухом при его скорости в линии подачи 20-40 м/с.

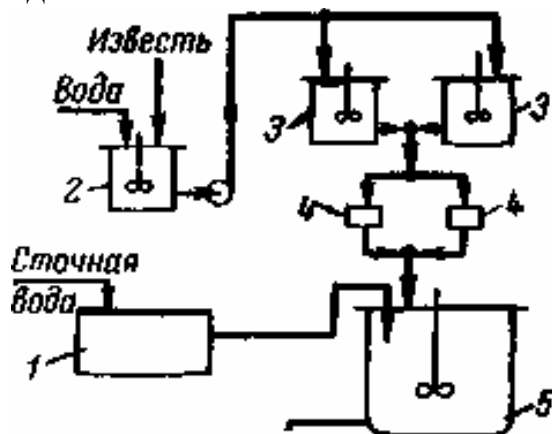
При переменной концентрации сточных вод в схеме предусматривают установку усреднителя или обеспечивают автоматическое регулирование подачи в камеру смешения.



1 - емкость; 2 - распределитель воздуха.

Рисунок 29 - Нейтрализатор смешения.

2 Нейтрализация путем добавления реагентов. Для нейтрализации кислых вод могут быть использованы: NaOH, KOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>OH (аммиачная вода), CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub>, доломит и цемент. Однако наиболее дешевым реагентом является гидроксид кальция (известковое молоко) с содержанием активной извести Ca(OH)<sub>2</sub> 5-10 % , в соответствии с рисунком 30. Соду и гидроксид натрия следует использовать, если они являются отходами производства.



1 -усреднитель; 2 -аппарат для гашения извести; 3 -растворные баки; 4 -дозаторы; 5 -нейтрализатор; 6 -отстойник.

Рисунок 30 - Схема установки нейтрализации кислых сточных вод гидроксидом кальция (известковым молоком).

Известь для нейтрализации вводят в сточную воду в виде гидроксида кальция («мокрое» дозирование) или в виде сухого порошка («сухое» дозирование). При нейтрализации сточных вод, содержащих серную кислоту, известковым молоком в осадок выпадает гипс CaSO<sub>4</sub>•2H<sub>2</sub>O.

Реагенты выбирают в зависимости от состава и концентрации кислой сточной воды. При этом учитывают, будет ли в процессе образовываться осадок или нет. Различают три вида кислотосодержащих сточных вод:

- а) воды, содержащие слабые кислоты (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, CH<sub>3</sub>COOH);
- б) воды, содержащие сильные кислоты (HCl, HNO<sub>3</sub>). Для их нейтрализации может быть использован любой названный выше реагент. Соли этих кислот хорошо растворимы в воде;
- в) воды, содержащие серную и сернистую кислоты. Кальциевые соли этих кислот плохо растворимы в воде и выпадают в осадок.

3 Нейтрализация фильтрованием кислых вод через нейтрализующие материалы. В этом случае для нейтрализации кислых вод проводят фильтрование их через слой магнезита, доломита, известняка и твердых отходов (шлак, зола). Процесс ведут в фильтрах-нейтрализаторах, которые могут быть горизонтальными или вертикальными. Для вертикальных фильтров используют куски известняка или доломита размером 30-80 мм. При высоте слоя материала 0,85-1,2 м скорость должна быть не более 5 м/с, а продолжительность контакта не менее 10 мин. У горизонтальных фильтров скорость течения сточных вод 1-3 м/с.

4 Нейтрализация кислыми газами. Для нейтрализации щелочных сточных вод в последнее время начинают использовать отходящие газы, содержащие  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ , в соответствии с рисунком 31. Использование диоксида углерода для нейтрализации щелочных сточных вод имеет ряд преимуществ по сравнению с применением серной или соляной кислот, позволяет резко снизить стоимость процесса нейтрализации. Вследствие плохой растворимости  $\text{CO}_2$  уменьшается опасность переокисления нейтрализованных растворов.

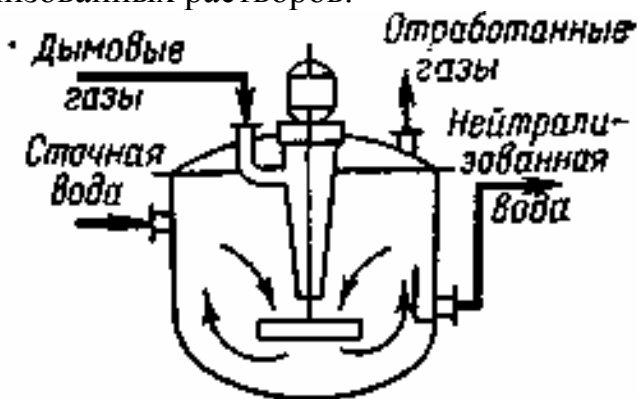


Рисунок 31 - Нейтрализатор щелочных сточных вод.

Дымовые газы вентилятором подают в кольцевое пространство вокруг вала мешалки и распределяют мешалкой в виде пузырьков и струй в сточной воде, поступающей внутрь реактора. Благодаря большой поверхности контакта между водой и газами происходит быстрая нейтрализация сточной воды. Присутствие в газах  $\text{SO}_2$  способствует нейтрализации щелочных сточных вод.

Нейтрализация щелочных вод дымовыми газами является примером ресурсосберегающей технологии, позволяющей исключить использование кислот, создать бессточную схему водопотребления. При этом ликвидируется сброс сточных вод, сокращается потребление свежей воды, экономится тепловая энергия на подогрев свежей воды, а также очищаются дымовые газы от кислых компонентов и пыли.

### 3.10.2 Окисление

В процессе окисления токсичные загрязнения, содержащиеся в сточных водах, в результате химических реакций переходят в менее токсичные, которые удаляют из воды. Очистка окислителями связана с большим расходом реагентов, поэтому ее применяют только в тех случаях, когда вещества, загрязняющие сточные воды, нецелесообразно, или нельзя извлечь другими способами, например, очистка от цианидов, растворенных соединений мышьяка и др.

Для очистки сточных вод используют следующие окислители: газообразный и сжиженный хлор, диоксид хлора, хлорат кальция, гипохлориты кальция и натрия, перманганат калия, пероксид водорода, кислород воздуха, озон, пиролюзит и др.

Активность вещества как окислителя определяется величиной окислительного потенциала. Из всех известных в природе окислителей первое место занимает фтор, который, однако, из-за высокой агрессивности не может

быть использован на практике. Для других веществ величина окислительного потенциала равна: для озона - 2,07; для хлора - 0,94; для пероксида водорода - 0,68; для перманганата калия - 0,59.

1 Окисление хлором. Хлор и вещества, содержащие «активный» хлор, являются наиболее распространенными окислителями. Их используют для очистки сточных вод от сероводорода, гидросульфидов, фенолов, цианидов и др. При введении хлора в воду образуются хлорноватистая и соляная (хлороводородная) кислоты:  $Cl_2 + H_2O = HOCl + HCl$ . Далее происходит диссоциация хлорноватистой кислоты, степень которой зависит от рН среды. При рН = 4 молекулярный хлор практически отсутствует:  $HOCl \leftrightarrow H^+ + OCl^-$

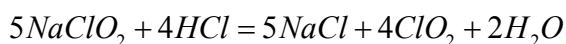
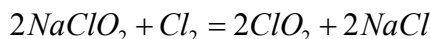
Сумма  $Cl_2 + HOCl + OCl^-$  называется свободным «активным» хлором.

Источниками «активного» хлора могут быть также хлорат кальция, гипохлориты, хлораты, диоксид хлора. Хлорат кальция (хлорную известь) получают при взаимодействии  $Ca(OH)_2 + Cl_2 = CaOCl_2 + H_2O$

Гипохлорит (оксохлорат) натрия образуется при пропускании газообразного хлора через раствор щелочи:  $Cl_2 + 2NaOH = NaClO_2 + NaCl$

Гипохлорит кальция готовят хлорированием гидроксида кальция при температуре 25-30 °С:  $2Ca(OH)_2 + 2Cl_2 = Ca(ClO)_2 + CaCl_2 + 2H_2O$

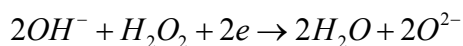
Сильным окислителем является хлорат натрия  $NaClO_2$ , который разлагается с выделением  $ClO_2$ . Диоксид хлора - зеленовато-желтый ядовитый газ, обладающий более интенсивным запахом, чем хлор. Для его получения проводят следующие реакции:



2 Окисление пероксидом водорода. Пероксид водорода является бесцветной жидкостью, в любых соотношениях смешивается с водой. Он может быть использован для окисления нитритов, альдегидов, фенолов, цианидов, серосодержащих отходов и активных красителей. Промышленность выпускает 85-95%-ный пероксид водорода и пергидроль, содержащий 30 %  $H_2O_2$ . Пероксид водорода токсичен, ПДК в воде составляет 0,1 мг/л.

Пероксид водорода в кислой и щелочной средах разлагается по

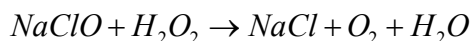
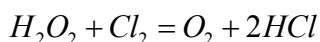
следующим схемам:  $2H^+ + H_2O_2 + 2e \rightarrow 2H_2O$



В кислой среде более отчетливо выражена окислительная функция, а в щелочной - восстановительная. В кислой среде пероксид водорода переводит соли двухвалентного железа в соли трехвалентного, азотистую кислоту - в азотную, сульфиды - в сульфаты. Цианиды в цианаты окисляются в щелочной среде (рН=9-12). В разбавленных растворах процесс окисления органических веществ протекает медленно, поэтому используют катализаторы - ионы металлов переменной валентности ( $Fe^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ).

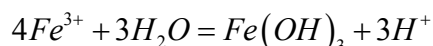
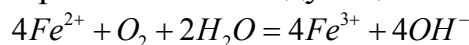
В процессах водообработки используют не только окислительные, но и восстановительные свойства пероксида водорода. В нейтральной и

слабощелочной среде он легко взаимодействует с хлором и гипохлоритами, переводя их в хлориды:



Эти реакции используют при дехлорировании воды.

3 Окисление кислородом воздуха. Кислород воздуха используют при очистке воды от железа для окисления соединений двухвалентного железа в трехвалентное с последующим отделением от воды гидроксида железа. Реакция окисления в водном растворе протекает по следующей схеме



Окисление проводят при аэрировании воздуха через сточную воду в башнях с хордовой насадкой. Образующийся гидроксид железа отстаивают в контактном резервуаре, а затем отфильтровывают. Возможен процесс упрощенной аэрации. В этом случае над поверхностью фильтра разбрызгивают воду, которая в виде капель падает на поверхность фильтрующей загрузки. При контакте капель воды с воздухом происходит окисление железа.

Кислородом воздуха окисляют также сульфидные стоки целлюлозных, нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов. Процесс окисления гидросульфидной и сульфидной серы протекает через ряд стадий при изменении валентности серы с -2 до +8:



При этом, при окислении гидросульфида и сульфида до тиосульфата рН раствора повышается, при окислении гидросульфида до сульфида и сульфата рН раствора понижается, а при окислении сульфида до сульфита и сульфата активная реакция среды не изменяется.

4 Окисление пиролюзитом. Процесс проводят фильтрацией сточной воды через этот материал или в аппаратах с мешалкой. Пиролюзит является природным материалом, состоящим в основном из диоксида марганца. Его широко используют для окисления трехвалентного мышьяка в пятивалентный. Повышение температуры способствует увеличению степени окисления.

5 Окисление озоном позволяет одновременно обеспечить обесцвечивание воды, устранение привкусов, запахов и обеззараживание. Озонированием можно очищать сточные воды от фенолов, нефтепродуктов, сероводорода, соединений: мышьяка, ПАВ, цианидов, красителей, канцерогенных ароматических углеводородов, пестицидов и др. При обработке воды озоном происходит разложение органических веществ и обеззараживание воды; бактерии погибают в несколько тысяч раз быстрее, чем при обработке воды хлором. Растворимость озона в воде зависит от рН и содержания в воде растворимых веществ. Небольшое содержание кислот и нейтральных солей увеличивает растворимость озона. Присутствие щелочей, наоборот, снижает растворимость  $O_3$ .

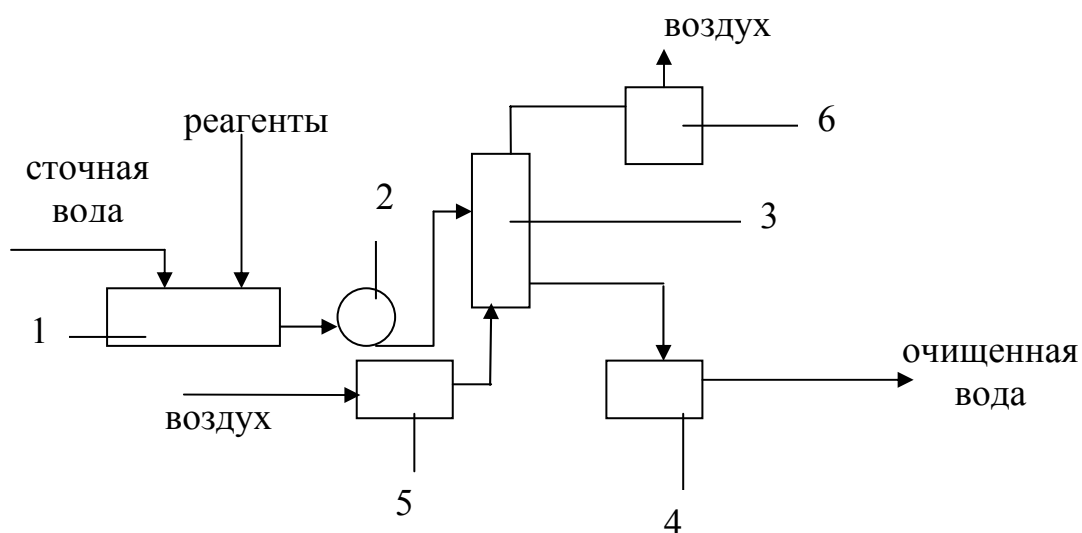
Действие озона в процессах окисления может происходить в трех различных направлениях:

- непосредственное окисление с участием одного атома кислорода;
- присоединение целой молекулы озона к окисляемому веществу с образованием озонидов;
- каталитическое усиление окисляющего воздействия кислорода, присутствующего в озонированном воздухе.

При диспергировании озона в воду идут два основных процесса - окисление и дезинфекция. Кроме того, происходит значительное обогащение воды растворенным кислородом. Окисление веществ может быть прямое и косвенное, а также может осуществляться катализом и озонлизом.

Озон подают в сточную воду в виде озono-воздушной или озono-кислородной смеси, в соответствии с рисунком 32. Концентрация озона в смеси - около 3 %. Для усиления процесса окисления смесь диспергируют в сточной воде на мельчайшие пузырьки газа.

Поскольку озон приближается к сильным отравляющим веществам (превосходит, например, синильную кислоту), на установках очистки сточных вод озонированием предусматривается стадия очистки отходящих газов от остатков озона.

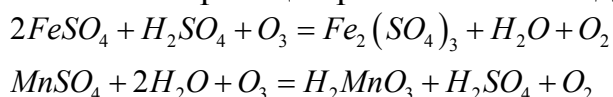


1 – смеситель; 2 – насос; 3 – реактор; 4 – сборник; 5 – озонаторная установка; 6 – блок очистки отходящих газов.

Рисунок 32 - Схема установки для одноступенчатой очистки сточных вод озонами.

Процесс очистки сточных вод значительно сокращается при совместном использовании ультразвука и озона, ультрафиолетового облучения и озона. Так, ультрафиолетовое облучение ускоряет окисление в  $10^2—10^4$  раз.

Озон окисляет как неорганические, так и органические вещества, растворенные в сточной воде. Рассмотрим несколько примеров. Соединения металлов окисляются озонами до соединений высшей валентности. Например, реакции с соединениями железа и марганца протекают по следующей схеме:



Окисление сероводорода:  $H_2S + O_3 = H_2O + SO_2$   
 $3H_2S + 4O_3 = 3H_2SO_4$

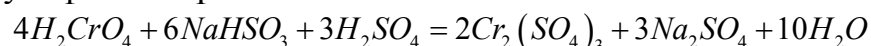
### 3.10.3 Очистка восстановлением

Методы восстановительной очистки сточных вод применяют в тех случаях, когда они содержат легко восстанавливаемые вещества. Эти методы широко используют для удаления из сточных вод соединений ртути, хрома и мышьяка.

1 В процессе очистки неорганические соединения ртути восстанавливают до металлической ртути, которую отделяют от воды отстаиванием, фильтрованием или флотацией. Органические соединения ртути сначала окисляют с разрушением соединения, затем катионы ртути восстанавливают до металлической ртути. Для восстановления ртути и ее соединений предложено применять сульфид железа, гидросульфит натрия, железный порошок, сероводород, алюминиевую пудру и др.;

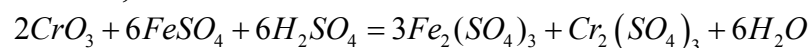
2 Мышьяк в сточных водах находится в виде кислородсодержащих молекул, а также в виде анионов тиосолей  $AsS_2^-$ ,  $AsS_3^{3-}$ . Наиболее распространенным способом удаления мышьяка из сточных вод является осаждение его в виде труднорастворимых соединений. При больших концентрациях мышьяка (до 110 г/л) метод очистки основан на восстановлении мышьяковой кислоты до мышьяковистой диоксидом серы. Мышьяковистая кислота имеет небольшую растворимость в кислой и нейтральной средах и осаждается в виде триоксида мышьяка;

3 Метод очистки сточных вод от веществ, содержащих шестивалентный хром, основан на восстановлении его до трехвалентного с последующим осаждением в виде гидроксида в щелочной среде. В качестве восстановителей могут быть использованы активный уголь, сульфат железа, водород, диоксид серы, отходы органических веществ (например, газетная бумага) и др. На практике для восстановления наиболее часто используют растворы гидросульфита натрия:



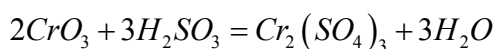
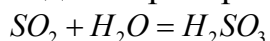
Реакция протекает быстро при pH=3-4 и избытке серной кислоты.

Хорошие результаты получаются при использовании в качестве восстановителя сульфата железа  $FeSO_4$ . Процесс можно проводить как в кислой, так и в щелочной среде:



Расход  $FeSO_4$  зависит от pH среды и концентрации хрома.

Восстановление диоксидом серы происходит по следующей схеме:



Время, необходимое для полного восстановления Cr(VI) зависит от содержания его в воде.



В качестве восстановителя можно использовать и гидросульфит цинка или его смесь с известью в различных соотношениях, а также соединения, содержащие фосфор, природный газ, аммиак, древесный уголь, водород и др.

### 3.11 Биохимические методы очистки сточных вод

Биохимические способы очистки в настоящее время нашли широкое применение для очистки как хозяйственно-бытовых, так и промышленных сточных вод от многих растворенных органических и неорганических веществ (сероводорода, сульфидов, аммиака, нитритов цветных металлов), которые используются микроорганизмами в качестве питательных веществ и источников энергии и при этом подвергаются деструктивному распаду - окислению с образованием воды и  $\text{CO}_2$  при аэробной и восстановительным процессам с образованием метана при анаэробной очистке.

Биохимическая очистка основана на способности микроорганизмов использовать для питания находящиеся в сточных водах вещества (кислоты, спирты, белки, углеводы и т.д.), являющиеся для них источником энергии. В процессе питания микроорганизмов происходит прирост их массы. В сообщество микроорганизмов (биоценоз) входит множество различных бактерий, простейших и ряд более высокоорганизованных микроорганизмов (микроводорослей, грибов, дрожжей и др.). Основная роль в сообществе принадлежит бактериям, число которых составляет  $10^6$  -  $10^{14}$  клеток на 1 г сухой биологической массы. Число родов бактерий может достигать 5-10, а видов - несколько десятков и даже сотен. Масса микроорганизмов создает так называемый активный ил с концентрацией до 2-5 г/л сточных вод (в искусственных сооружениях типа аэротенков).

Концентрация органических веществ в сточной воде, поступающей на биологические сооружения, не должна превышать предельно допустимой величины, устанавливаемой опытным путем. Если концентрация органических веществ выше, то перед биологической очисткой промышленные сточные воды разбавляют речной водой или бытовыми сточными водами. В воде должны присутствовать соединения, содержащие биогенные элементы (азот и фосфор). Их содержание зависит от величины БПКполн. Так, при  $\text{БПК}_{\text{полн}} = 500 \text{ мгО}_2/\text{л}$  содержание фосфатов (в пересчете на фосфор) должно быть не менее 3 мг/л, а содержание усваиваемых соединений азота (в пересчете на азот) не менее 15 мг/л. При недостатке содержания биогенных элементов в воду добавляют суперфосфат и сульфат аммония. Концентрация взвешенных веществ в сточных водах, поступающих на биологическую очистку, не должна превышать 100 мг/л. Оптимальными для процессов являются:

-температура 20-30 °С;

-рН среды 5-9 (предпочтительнее 6,5-7,5);

-наличие кроме основных (углерода, азота, кислорода, водорода и фосфора) других биогенных элементов клетки (марганца, меди, цинка, железа, кальция, натрия, калия и пр.);

-концентрация растворенного кислорода не ниже 2 мг/л.

Производственные сточные воды после биохимической очистки можно использовать для технического водоснабжения или сбросить в водоем при  $BPK_{полн}=15-20$  мг/л и таком же количестве взвешенных веществ.

Важными характеристиками качества воды являются показатели биологического потребления кислорода, полного биологического потребления кислорода и химической потребности в кислороде, определяемые в мгО<sub>2</sub>/л воды.

*БПК* - количество О<sub>2</sub>, использованное в биологических процессах окисления органических веществ до диоксида углерода и воды за определенное время (2, 5, 8, 10, 20 сут). За стандартное обычно принимается биологическое потребление кислорода за 5 сут при 20 °С (*БПК*<sub>5</sub>).

*БПК<sub>полн</sub>* - потребление кислорода до начала процессов нитрификации, т.е. окисления нитритов до нитратов.

*ХПК* - количество кислорода, эквивалентное расходуемому окислителем на все восстановители, содержащиеся в воде. *ХПК* включает кислород *БПК<sub>полн</sub>*, а также кислород, расходуемый на нитрификацию, на перевод серы в сернистый ангидрид и другие возможные окислительные процессы. *ХПК* - величина, характеризующая общее количество органических и неорганических восстановителей, реагирующих со всеми окислителями, находящимися в сточной воде.

Возможность биохимического окисления определяется по отношению, называемому биохимическим показателем, который рассчитывается по формуле:

$$\frac{BPK_{полн}}{ХПК} \cdot 100, \%$$

Если это отношение равно 50 %, то вещества будут поддаваться биохимическому окислению. Промышленные сточные воды характеризуются биохимическим показателем в пределах от 0,001 до 0,5. Для бытовых сточных вод этот показатель составляет свыше 0,5.

По биохимическому показателю токсических веществ промышленные сточные воды делятся на 4 группы:

1) биохимический показатель свыше 0,2. К этой группе относятся сточные воды пищевой промышленности и предприятий, связанных с перегонкой нефти;

2) биохимический показатель от 0,2 до 0,02, сточные воды коксохимических производств. Эти воды после механической очистки могут быть подвергнуты биохимическому окислению;

3) биохимический показатель в пределах от 0,02 до 0,001, сюда относят сточные воды предприятий химической промышленности, металлургии и тяжелого машиностроения. Эти воды после механической и физико-химических методов очистки могут быть подвергнуты биохимическому окислению;

4) биохимический показатель ниже 0,001, такие сточные воды содержат только взвешенные вещества и подвергаются механическим методам очистки.

Известны два вида процессов с участием микроорганизмов:

-окислительные (аэробные) в присутствии кислорода, наиболее распространенные в очистке сточных вод. Аэробный метод очистки основан на использовании аэробных групп микроорганизмов, для жизнедеятельности которых необходим постоянный приток кислорода и температура 20-40 градусов. При аэробном методе очистки микроорганизмы культивируются в виде активного ила или биопленки;

-восстановительные (анаэробные) методы протекают в отсутствие кислорода и используются для сбраживания осадков.

### 3.11.1 Состав активного ила и биопленки

Активный ил представляет собой коллоидную систему, которая при pH от 4 до 9 имеет отрицательный заряд. Сухое вещество активного ила содержит от 70 до 90 % органических веществ и от 10 до 30 % неорганических. Органическая часть активного ила в основном представлена веществами белкового происхождения (до 50 %) при содержании жиров и углеводов соответственно до 30 и 10 %. Субстрат в активном иле до 40 % состоит из отмерших организмов, это остатки водорослей и простейших, к которым прикрепляются живые организмы.

По экологическим группам микроорганизмы активного ила делятся на :

- аэробы (с доступом воздуха) и анаэробы (без доступа воздуха);
- термофилы и мезофилы (связанные с изменением температуры);
- галофилы и галофобы (избыток и недостаток влаги).

При очистке промышленных сточных вод преобладают аэробные микробы.

Активный ил состоит из живых организмов и твердого субстрата. В состав микроорганизмов активного ила входят следующие живые организмы: скопления бактерий, одиночные бактерии, простейшие, грибы, черви, микроводоросли и дрожжи.

Скопления бактерий в активном иле окружены слизистым слоем, который образует капсулы. Эти скопления называются зооглеями. Такие скопления улучшают структуру ила, способствуют его осаждению. Соотношение капсульных и безкапсульных штаммов называют коэффициентом зооглейности. Наиболее многочисленны в активном иле простейшие, амёбы и раковинные корненожки, жгутиковые, класс ресничных инфузорий, коловратки, черви и водные клещи. Вообще, в нормально работающих активных илах можно встретить 60 и более различных видов организмов.

Простейшие в активном иле представлены четырьмя видами:

- саркодовые;
- жгутиковые;
- сосущие (инфузории);
- реснитчатые.

Простейшие непосредственного участия в биохимическом окислении не принимают, но они поглощают бактерии, поддерживая их оптимальное соотношение. В процессе очистки биомасса основной физиологической группы бактерий, ведущих процесс окисления, составляет 80-90 %. Все остальное – это биомасса сопутствующих организмов. В процессе образования активного ила сначала появляются бактерии, затем простейшие. Бактерии выделяют вещества, которые стимулируют процесс размножения простейших. В активном иле, а именно на 1 м<sup>3</sup> приходится 2•10<sup>14</sup> бактерий.

Количество ила определяется скоростью его осаждения, крупные хлопья осаждаются быстрее, в связи с этим существует понятие илового индекса, представляющего собой объем в мл, занимаемый 1 г ила в его естественном состоянии после 30-минутного отстаивания. Ил с индексом до 120 мл/г оседает хорошо, с индексом 120-150 мл/г удовлетворительно, а при индексе выше 150 мл/г - плохо.

Биопленка растет на наполнителе биофильтра и представляет собой слизистые образования толщиной от 2 мм и более. Биопленка состоит из бактерий, грибов, дрожжей и более широкого спектра простейших. Количество бактерий составляет на 1 м<sup>3</sup> биопленки - 2•10<sup>12</sup>.

Влияние различных факторов на скорость биохимического окисления:

- отклонение рН от нормы;
- недостаток питательных веществ (голодание). Доза активного ила зависит от илового индекса (таблица 3). Чем меньше иловый индекс, тем большую дозу активного ила необходимо подавать на очистные сооружения;

Таблица 3 – Влияние илового индекса на дозу активного ила.

Наименование показателя	значение						
	50	80	120	150	200	250	300
Иловый индекс, мг\л	50	80	120	150	200	250	300
Доза активного ила, г\л	6	4,3	3	2,5	2	1,5	1

- температура. Оптимальной считается температура 20-30 градусов. В среднем при повышении температуры в оптимальных пределах скорость биохимического окисления увеличивается в 2-3 раза. С увеличением температуры уменьшается растворимость кислорода в сточной воде, в связи с этим необходимо проводить дополнительную аэрацию;

- медленное течение воды;
- недостаток кислорода. Микроорганизмы могут использовать кислород только растворенный в воде, при аэрации воздушный поток разбивается на мелкие пузырьки, которые равномерно распределяются в сточной воде. Из пузырьков воздуха кислород адсорбируется водой и переносится к микроорганизмам. Перенос кислорода из газовой фазы к микроорганизмам осуществляется в 2 этапа. На 1 этапе происходит перенос кислорода из

воздушных пузырьков в основную массу жидкости. На 2 этапе – перенос адсорбированного кислорода из основной массы жидкости микроорганизмам.;

- перегрузка;
- сброс токсичных стоков;
- быстрое течение воды;

-наличие тяжелых металлов (олово, серебро, ртуть и железо). Активный ил способен адсорбировать соли тяжелых металлов, при этом снижается биохимическая активность ила в следствии развития нитчатых форм бактерий. Происходит вспухание активного ила;

- наличие биогенных элементов. Для успешного протекания биохимического окисления необходимо присутствие в сточной воде биогенных элементов (азот, фосфор и калий) и микроэлементов (кальций, натрий, магний, железо, цинк, кобальт). Основные – азот, фосфор и калий. Недостаток азота тормозит окисление органических загрязнителей и приводит к образованию труднооседаемого ила. Недостаток фосфора приводит к развитию нитчатых форм бактерий. Ил плохо оседает и наблюдается его вынос из очистных сооружений, замедление роста ила. Недостаток калия приводит к снижению проницаемости клеток.

Ориентировочно используют следующее соотношение БПК<sub>полн</sub>:N:P=100:5:1. Такое соотношение можно использовать в течении 1-3 суток очистки. В случае продолжительной очистки соотношение азота и фосфора необходимо уменьшить, если продолжительность очистки составляет 20 суток, то соотношение составляет 200:5:1.

Биохимическая очистка сточных вод осуществляется в естественных и искусственных условиях. В первом случае используют почвы, проточные и замкнутые водоемы (реки, озера, лагуны, пруды), во втором - специально построенные очистные сооружения (биофильтры, аэротенки, метатенки, биосорберы и биоконтакторы).

3.11.2 Метаболизм (закономерности распада) некоторых веществ в процессе биохимического окисления

При биохимической чистке сточных вод окисление органических веществ до CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O происходит в несколько стадий.

1 Окисление метана и этанола. Метан окисляется по схеме



Если в воде присутствует спирт, то процесс окисления протекает с образованием кислоты.

2 Нитрификация и денитрификация. При очистке сточных вод под действием нитрифицирующих бактерий протекают процессы нитрификации и денитрификации. Нитрифицирующие бактерии окисляют азот аммонийных соединений сначала до нитритов, а потом до нитратов. Этот процесс называется нитрификацией и протекает в две стадии. Он является конечной стадией минерализации азотсодержащих органических веществ. Присутствие нитрат-ионов в очищенной сточной воде является одним из показателей полноты очистки:



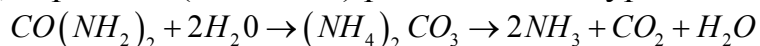
Количество активного ила, необходимого для нитрификации, рассчитывают исходя из содержания органических веществ, концентрации азота и аммиака в сточных водах, активности ила. Учитывают также способность роста и размножения микроорганизмов активного ила в условиях изменения нагрузки и окислительно-восстановительного потенциала ила.

Под действием денитрифицирующих бактерий связанный кислород отщепляется от нитритов и нитратов и вновь расходуется на окисление органических веществ. Этот процесс называется денитрификацией. Условиями осуществления процесса денитрификации являются: наличие органических веществ, небольшой доступ кислорода, нейтральная или слабощелочная реакция.

Денитрификация - процесс многостадийный и может протекать с образованием аммиака, молекулярного азота либо оксидов азота. При очистке сточных вод денитрификация протекает главным образом с образованием азота (редко образуется  $NH_3$ ):

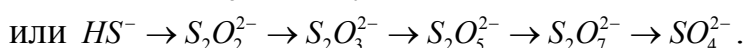
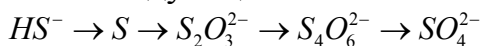


Азотсодержащие соединения разлагаются с выделением азота в виде аммиака. Например, карбамид (мочевина) разлагается по уравнению



Разложение органических соединений может происходить через образование аминокислот, которые далее выделяют аммиак при протекании различных процессов.

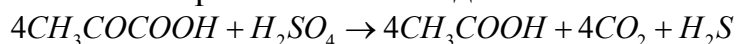
3 Окисление серосодержащих веществ. Серу, сероводород, тиосульфаты и другие серосодержащие соединения серные бактерии окисляют до серной кислоты и сульфатов. Наличие в сточной воде азота, фосфора, калия и небольших количеств железа, магния, меди, цинка, бора, марганца и других веществ в некоторых случаях сильно интенсифицирует развитие серных и тионовых бактерий, которые и разлагают сероводород, серу, тиосульфат и др. Процесс окисления сернистых соединений тионовыми бактериями может быть представлен следующими схемами:



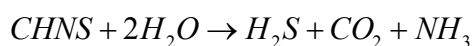
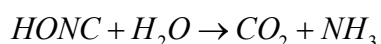
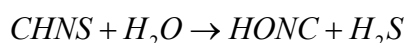
При окислении сероводорода сначала образуется сера, которая накапливается в клетках в виде запасного вещества:  $2H_2S + O_2 \rightarrow 2H_2O + 2S + \Delta H$



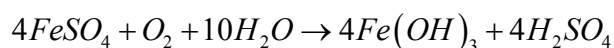
Восстановление сульфатов - основной путь образования сероводорода в природе. Восстанавливаются и органические соединения:



При окислении тиоцианатов вначале образуются сульфиды и цианаты. Цианаты далее гидролизуются до  $CO_2$  и  $NH_3$ , а сульфиды окисляются до сульфатов:



4 Окисление железа и марганца. Железобактерии получают энергию в результате окисления солей двухвалентного железа до соединений трехвалентного железа:



Двухвалентный марганец окисляется в четырехвалентный:



Соли тяжелых металлов губительно влияют на бактерии, но есть и такие, которые отличаются устойчивостью и адаптируются.

### 3.11.3 Аэробные процессы биохимической очистки в природных условиях

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

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

В почве полей орошения находятся бактерии, актиномицеты, дрожжи, грибы, водоросли, простейшие и беспозвоночные животные. Количество микроорганизмов в почве земледельческих полей орошения зависит от времени года. Зимой количество микроорганизмов значительно меньше, чем летом.

В процессе биологической очистки сточные воды проходят через фильтрующий слой почвы, в котором задерживаются взвешенные и коллоидные частицы, образуя в порах грунта микробную пленку. Затем образовавшаяся пленка адсорбирует коллоидные частицы и растворенные в сточных водах вещества. Проникающий из воздуха в поры кислород окисляет органические вещества, превращая их в минеральные соединения. В глубокие слои почвы проникновение кислорода затруднено, поэтому наиболее интенсивное окисление происходит в верхних слоях почвы (0,2-0,4 м).

Поля орошения лучше устраивать на песчаных, суглинистых и черноземных почвах. Грунтовые воды должны быть не выше 1,25 м от поверхности. Если грунтовые воды залегают выше этого уровня, то необходимо устраивать дренаж. По отношению к населенным пунктам их рекомендуется располагать с подветренной стороны, не ближе 300 м от границы застройки. При этом необходимо предусматривать лесную защитную зону.

Очистка сточных вод с одновременным их использованием для орошения и удобрения может быть проведена по разным вариантам.

- 1-сооружения механической очистки;
- 2-сооружения физико-химических методов очистки;
- 3-сооружения биологической очистки;
- 4-биологические пруды, шламоуплотнители;
- 5-отводной канал;
- 6-пруд – испаритель;
- 7-поля фильтрации;
- 8-поля орошения.

Вариант 1. Сточные воды после механической очистки поступают в пруды-накопители, а затем по каналу -в пруды-испарители и на поля орошения.

Вариант 2. Сточные воды после физико-химической очистки направляют в биологические пруды, затем на поля орошения или сначала на поля фильтрации, а потом на поля орошения.

Вариант 3. Сточные воды после механической, физико-химической и биохимической очистки направляют на поля орошения, а в неполивной период сбрасывают в водоем.

В последнее время широкое распространение получило подпочвенное орошение сточными водами, распределяемыми через трубчатые асбестоцементные или полиэтиленовые увлажнители. Такое орошение позволяет наиболее полно использовать удобрительные свойства сточных вод, автоматизировать процессы полива и обеспечить санитарно-гигиенические требования.

Земледельческие поля орошения после биологической очистки сточных вод, увлажнения и удобрения используют для выращивания зерновых и силосных культур, трав, овощей, а также для посадки деревьев и кустарников.

Поля орошения имеют следующие преимущества перед аэротенками:

- а) снижаются капитальные и эксплуатационные затраты;
- б) исключается сброс стоков за пределы орошаемой площади;
- в) обеспечивается получение высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных растений;
- г) вовлекаются в сельскохозяйственный оборот малопродуктивные земли.

Серьезной проблемой использования полей орошения может явиться загрязнение почвы и заражение растений патогенными бактериями и яйцами гельминтов, что требует поиска и разработки новых очистных систем, безопасных в санитарном отношении.

2 Если на полях не выращиваются сельскохозяйственные культуры и они предназначены только для биологической очистки сточных вод, то их называют полями фильтрации. Их площадь составляет – от нескольких кв. метров до 1,5-2 га. Устраивают их обычно на проницаемых грунтах - песках, супесях, легких суглинках. Поля фильтрации предпочтительнее располагать на земельных участках со слабовыраженным рельефом. Недостатки - большая



площадь, возможность загрязнения подземных вод и воздуха газообразные продуктами разложения /запах - на 200 м/.

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

Бактерии используют для окисления загрязнений кислород, выделяемый водорослями в процессе фотосинтеза, а также кислород из воздуха. Водоросли, в свою очередь, потребляют CO<sub>2</sub>, фосфаты и аммонийный азот, выделяемые при биохимическом разложении органических веществ. Для нормальной работы необходимо соблюдать оптимальные значения pH и температуры сточных вод. Температура должна быть не менее 6 °С. В зимнее время пруды не работают.

Для повышения скорости растворения кислорода, а следовательно, и повышения скорости окисления сооружают аэрируемые пруды. Аэрацию проводят механическим или пневматическим путем. Аэрация позволяет в 3-3,5 раза повысить нагрузку по загрязнениям и увеличить глубину пруда до 3,5 м.

К недостаткам этих сооружений следует отнести низкую окислительную способность, сезонность работы, потребность в больших территориях, неуправляемость и затрудненность очистки, трудно подобрать состав микроорганизмов, поддерживать их концентрацию на нужном уровне, микроорганизмы часто гибнут. В одном месте пруда скапливается большое количество микроорганизмов, в другом недостаточное, в результате чего образуются застойные зоны и эффективность очистки снижается.

Данный способ биологической очистки сточных вод известен около 40 лет. В мире в настоящее время функционирует более 1000 таких природных и построенных человеком участков, в том числе 600 в США, 250 в Европе и 30 в России. В Оренбурге - Ташлинский молокоперерабатывающий завод.

#### 3.11.4 Очистка сточных вод в искусственных условиях

Искусственные сооружения биохимической очистки по признаку закрепления в них активной биомассы можно разделить на три группы:

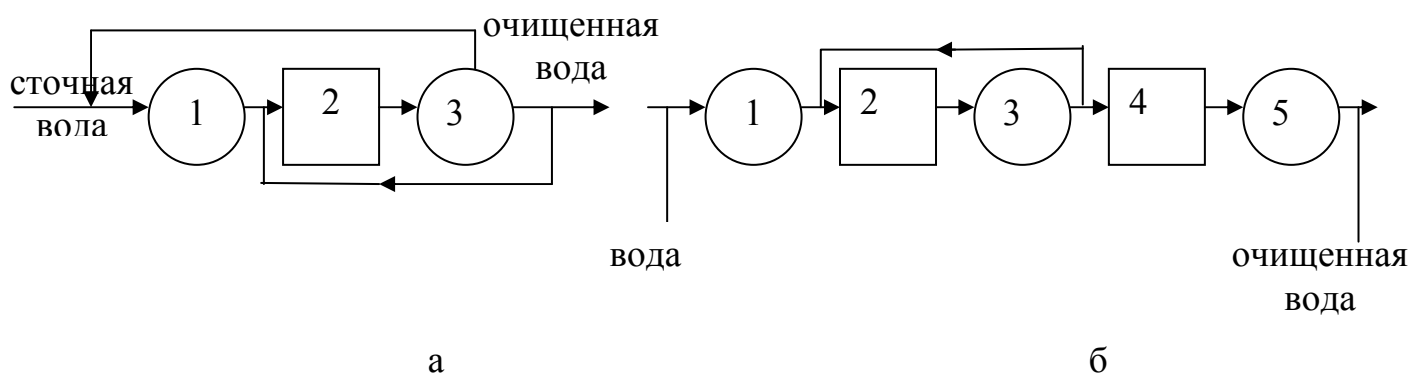
- 1) биомасса фиксируется на неподвижном материале;
- 2) активная биомасса находится в воде в свободном (взвешенном) состоянии;
- 3) сочетаются оба варианта.

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

Микроорганизмы биопленки окисляют органические вещества, используя их как источники питания и энергии. Таким образом, из сточной

воды удаляются органические вещества, а масса активной биопленки увеличивается. Отработанная (омертвевшая) биопленка смывается протекающей сточной водой и выносятся из биофильтра.

В качестве загрузки используют различные материалы с высокой пористостью, малой плотностью и большой удельной поверхностью: щебень, гравий, шлак, керамзит и т.д. В настоящее время предложено большое число конструкций биофильтров, которые делят на биофильтры, работающие с полной и неполной биологической очисткой; с естественной и искусственной подачей воздуха; с рециркуляцией и без рециркуляции сточных вод; на биофильтры одноступенчатые и двухступенчатые, в соответствии с рисунком 33, капельные и высоконагружаемые.



а- одноступенчатая очистка; б – двухступенчатая очистка.

1-первичные отстойники; 2, 4-биофильтры I и II ступеней; 3-вторичные отстойники, 5-третичный отстойник.

Рисунок 33 - Схемы установок для очистки сточных вод биофильтрами.

В биофильтрах с искусственной подачей воздуха, в соответствии с рисунком 34, сточная вода по трубопроводу 3 поступает в фильтр 2, через водораспределительное устройство 4 равномерно разбрызгивается по площади фильтра, а далее проходит через загрузку 5. Для интенсификации окисления органических примесей через трубопровод 1 и опорную решетку 6 подается сжатый воздух в противоток с направлением фильтрования. Очищенная вода выводится из фильтра через трубопровод 7. Производительность таких биофильтров достигает 50 тыс. м<sup>3</sup>/сут .

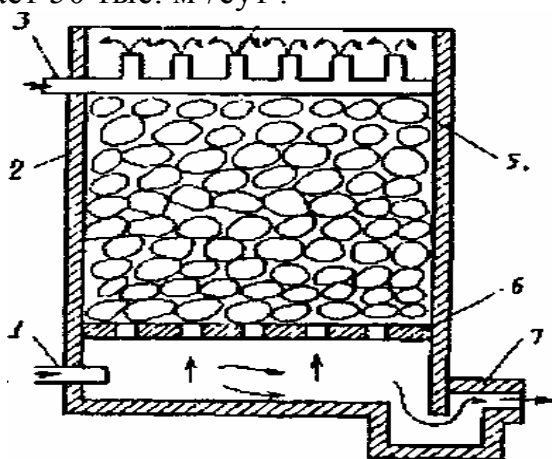


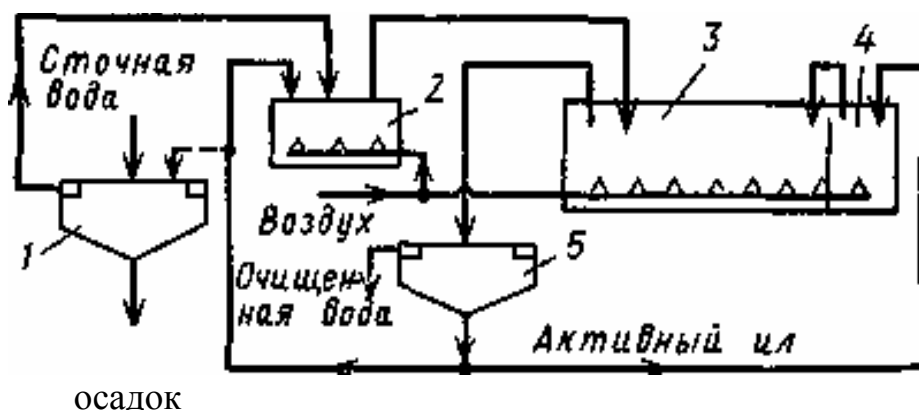
Рисунок 34 - Схема биологического фильтра.

Окислительная мощность биофильтров ниже мощности аэротенков.

2 Очистка в аэротенках. К устройствам с биомассой в свободном (взвешенном) состоянии относят *аэротенки* и *метантенки*.

Аэротенки представляют собой резервуары, в которых сточная вода смешивается с комплексом развивающихся микроорганизмов, образующих легко оседающие хлопья - активный ил, и насыщается воздухом или кислородом с помощью различных систем аэрации. Аэрация обеспечивает эффективное смешение сточных вод с активным илом, подачу в иловую смесь кислорода и поддержание ила во взвешенном состоянии. В процессе окисления органического вещества увеличивается биомасса микроорганизмов и образуется избыточный активный ил. Процесс очистки в аэротенке идет по мере протекания через него аэрированной смеси сточной воды и активного ила. Аэрация необходима для насыщения воды кислородом и поддержания ила во взвешенном состоянии.

Сточную воду направляют в отстойник, куда для улучшения осаждения взвешенных частиц можно подавать часть избыточного ила. Затем осветленная вода поступает в предаэратор-усреднитель, в который направляют часть избыточного ила из вторичного отстойника. Здесь сточные воды предварительно аэрируются воздухом в течение 15-20 мин. Из усреднителя сточную воду подают в аэротенк, через который циркулирует и активный ил, в соответствии с рисунком 35.



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

Рисунок 35 - Схема установки для биологической очистки.

Аэротенк разделен на две части: регенератор (25% от общего объема) и собственно аэротенк, в котором идет основной процесс очистки. Наличие регенератора дает возможность очищать более концентрированные сточные воды и увеличить производительность агрегата. Перед аэротенком сточная жидкость должна содержать не более 150 мг/л взвешенных частиц и 25 мг/л нефтепродуктов. Температура очищаемых сточных вод не должна быть ниже 6 °С и выше 30 °С, а рН - в пределах 6,5-9.

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

Биохимические процессы, протекающие в аэротенке, могут быть разделены на два этапа:

1) адсорбция поверхностью активного ила органических веществ и минерализация легко окисляющихся веществ при интенсивном потреблении кислорода;

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

Классификация аэротенков:

- по гидродинамическому режиму работы - аэротенки идеального вытеснения (аэротенки-вытеснители), идеального (полного) смешения (аэротенки-смесители) и промежуточные;

- по нагрузке на активный ил - высоконагруженные (более 300 мг БПК<sub>полн</sub> на 1 г беззольного вещества микроорганизмов в сутки), обычные (100-300 мг), низконагруженные (менее 100 мг);

- по способу регенерации активного ила - аэротенки с отдельно стоящими регенераторами или совмещенные с регенераторами;

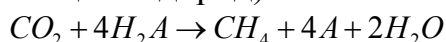
- по числу ступеней очистки - одно-, двух- и многоступенчатые;

- по конструкции - прямоугольные, круглые, комбинированные, противоточные, шахтные и т.д.;

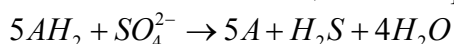
- по системе аэрации - пневматические, механические, комбинированные гидродинамические или пневмомеханические.

### 3.11.5 Биохимическая очистка в анаэробных условиях

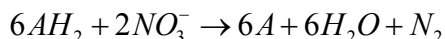
Анаэробные методы обезвреживания используют для сбраживания осадков, образующихся при биохимической очистке производственных сточных вод, а также как первую ступень очистки очень концентрированных промышленных сточных вод, содержащих органические вещества, которые разрушаются анаэробными бактериями в процессах брожения. Для очистки сточных вод используют метановое брожение. Этот процесс очень сложный и многостадийный. Механизм его окончательно не установлен. Считают, что процесс метанового брожения состоит из двух фаз: кислой и щелочной (или метановой). В кислой фазе из сложных органических веществ образуются низшие жирные кислоты, спирты, аминокислоты, аммиак, сероводород, диоксид углерода и водород. Из этих промежуточных продуктов в щелочной фазе образуются метан и диоксид углерода. Предполагается, что скорости превращений веществ в кислой и щелочной фазах одинаковы. Основная реакция метанообразования может быть записана уравнением ( $H_2A$  - органическое вещество, содержащее водород) :



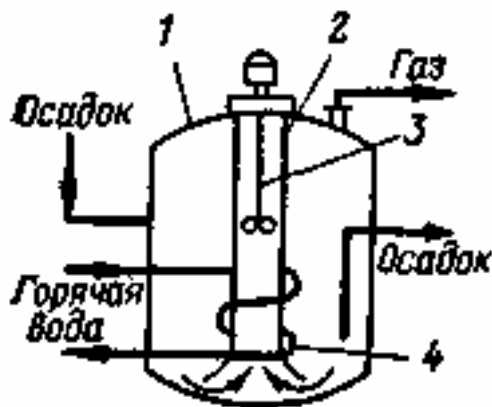
При очистке сульфатсодержащих промышленных стоков процесс протекает при участии сульфатвосстанавливающих бактерий:



При денитрификации в анаэробных условиях:



Процесс брожения проводят в метантенках - герметически закрытых резервуарах, оборудованных приспособлениями для ввода несброженного и отвода сброженного осадка в соответствии с рисунком 36. Перед подачей в метантенк осадок должен быть по возможности обезвожен.



1 - корпус; 2 - труба; 3 - мешалка; 4 - змеевик.

Рисунок 36 – Схема метантенка.

Основными параметрами аэробного сбраживания являются температура, регулирующая интенсивность процесса, доза загрузки осадка и степень его перемешивания. Процессы сбраживания ведут в мезофильных (30-35 °С) и термофильных (50-55 °С) условиях. Полного сбраживания органических веществ в метантенках достичь нельзя. Все вещества имеют свой предел сбраживания, зависящий от их химической природы. В среднем степень распада органических веществ составляет около 40 %. Для достижения высокой степени анаэробного сбраживания необходимо соблюдать по возможности высокую температуру процесса, концентрацию беззольного вещества более 15 г/л, интенсивную степень перемешивания, рН среды 6,8-7,2. Снижают эффективность сбраживания присутствие катионов тяжелых металлов (меди, никеля и цинка); избыток ионов  $\text{NH}_4^+$ , сульфидов и некоторых органических соединений.

Процесс брожения сточных вод ведут в две ступени. При этом часть осадка из второго метантенка возвращают в первый. В первой ступени обеспечивают хорошее перемешивание. При сбраживании выделяются газы, которые в среднем содержат 63-65 % метана, 32-34 %  $\text{CO}_2$ . Их сжигают в топках паровых котлов. Пар используют для нагрева осадков в метантенках или для других целей.

К недостаткам относится медленный рост анаэробных, особенно метановых, бактерий. Для выхода на стабильный режим работы иногда требуется до нескольких месяцев, однако при использовании хорошей закваски срок можно сократить до нескольких дней. В некоторых случаях, в частности при обработке отходов с высоким содержанием сульфатов, образуются продукты с неприятным запахом. Однако метановое сбраживание можно в

нужный момент прекратить, передав обрабатываемый в метантенке материал в аэробный реактор. При воздействии кислорода на микроорганизмы их активность прекращается.

### 3.12 Основные способы утилизации и обработки осадков

Осадки имеют разный состав, большую влажность и подразделяются на 3 группы:

- 1) осадки в основном минерального состава;
- 2) осадки в основном органического состава;
- 3) смешанные осадки.

Все виды осадков характеризуются содержанием сухого вещества, который определяется либо в %, либо в г/литр, содержанием беззольного вещества (в % от массы сухого вещества), элементным составом, вязкостью и текучестью, гранулометрическим составом.

Осадки сточных вод представляют собой трудно-фильтруемые суспензии, содержащие свободную и связанную влагу. Свободная влага (вода) составляет 60-65 % и легко может быть удалена из осадка. На долю связанной воды приходится от 30 до 40 %. Она представляет собой гидратную оболочку твёрдых частиц и препятствует их объединению в крупные агрегаты.

В настоящее время существует несколько способов утилизации и обработки осадков в соответствии с рисунком 37.

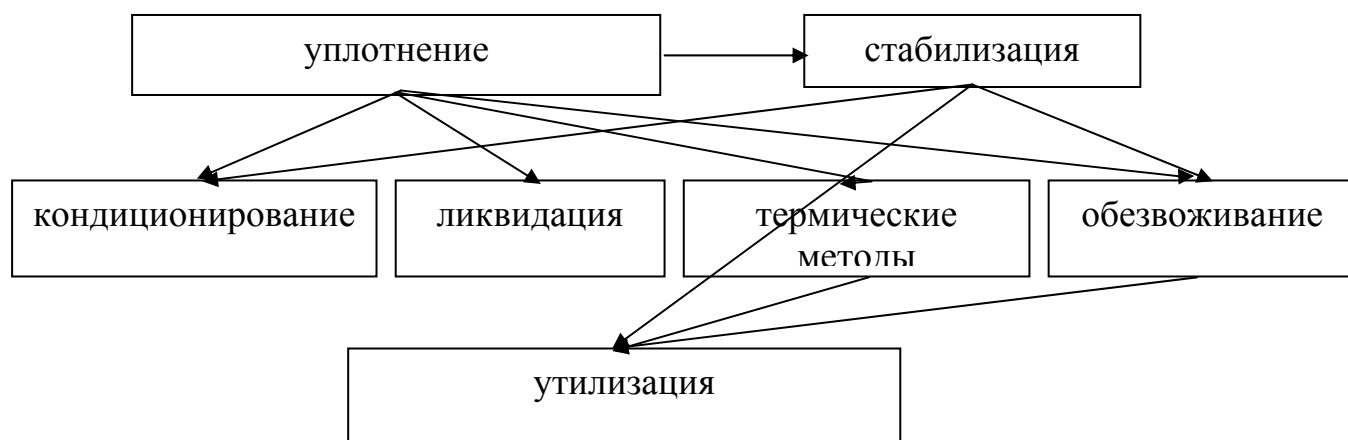


Рисунок 37 - Основные способы обработки осадков.

#### 1 Уплотнение активного ила

Уплотнение осадка связано с удалением свободной влаги, это является необходимой стадией всех технологических схем переработки осадков. При уплотнении осадка удаляется до 60 % влаги, масса осадка снижается в 2-2,5 раза. Для уплотнения используют гравитационный и флотационный методы:

- а) гравитационный метод используется для уплотнения активного ила и сброженных осадков, он основан на оседании. В качестве илоуплотнителя используются отстойники, наиболее часто применяются

радиальные отстойники. Гравитационное уплотнение не очень эффективно. Для усиления процесса используют коагулирование осадка, чаще всего осадок обрабатывают хлорным железом;

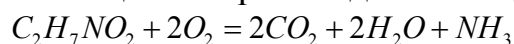
б) термогравитационный метод основан на нагревании иловой жидкости, при этом гидратная оболочка вокруг частиц активного ила разрушается и часть связанной воды переходит в свободную. Оптимальная температура нагрева от плюс 80 до плюс 90 °С;

в) флотационный метод уплотнения основан на прилипанию частиц активного ила к пузырькам газа, в результате чего они всплывают вместе с ним на поверхность. Для образования пузырьков воздуха или газа используют электрофлотацию и биологическую флотацию. Биологическая флотация происходит за счёт развития и жизнедеятельности микроорганизмов при нагреве. Температура процесса 35-55 °С. Достоинство флотационного метода – небольшая продолжительность процесса от 2 до 4 часов и более высокое уплотнение.

## 2 Стабилизация

Этот процесс проводят для разрушения биологической разлагаемой части органического вещества на CO<sub>2</sub>, метан и воду. Стабилизацию проводят при помощи микроорганизмов в анаэробных и аэробных условиях. В анаэробных условиях сбраживание осадка проводят в метатенках или осветлителях – перегнойниках. Высокая влажность и большое содержание белка приводят к низкому выходу газа в анаэробных условиях, поэтому сбраживанию подвергается только осадок, а активный ил подвергается аэробной стабилизации. Аэробная стабилизация заключается в продолжительной обработке ила в аэрационных установках. В результате такой обработки происходит распад основной части биоразлагаемых органических веществ до CO<sub>2</sub>, воды и аммиака. Неразложившаяся часть становится неспособной к загниванию, то есть стабилизируется.

Разложение клеточного вещества происходит по следующим реакциям:



Затем аммиак окисляется до нитратов.

Недостаток процесса – высокие затраты на аэрацию. Продолжительность стабилизации в среднем составляет от 7 до 10 суток.

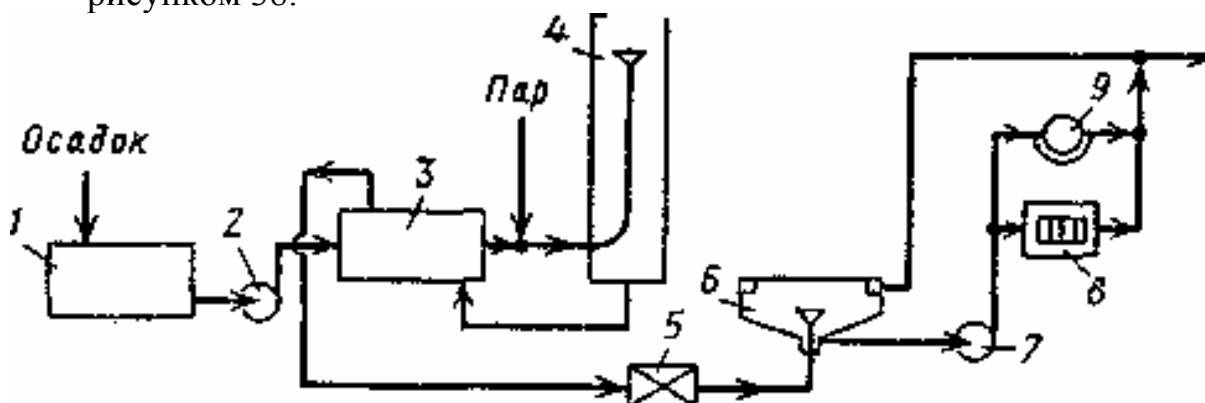
## 3 Кондиционирование

Это процесс предварительной подготовки осадков перед обезвоживанием или утилизацией. Проводят для улучшения водоотдающих свойств осадка в результате изменения структуры и форм связи воды. Кондиционирование может осуществляться 2 методами:

а) при реагентном методе происходит коагуляция. В качестве коагулянтов используют соли железа (FeSO<sub>4</sub>, Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, FeCl<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> и известь). Чаще всего используют хлорное железо и известь. При этом доля хлорного железа должна составлять 5-8 %, а доля извести - 15-30 % от массы сухого вещества осадка. Основной недостаток реагентных методов – высокая стоимость реагентов, коррозия металлов, сложность дозировки реагентов, сложности транспортировки и хранения реагентов;

б) к безреагентным методам относят тепловую обработку, замораживание с последующим оттаиванием, жидкофазное окисление, электрокоагуляция и радиационное облучение:

-тепловая обработка заключается в нагревании осадка в автоклавах до температуры 170-200 °С в течении 1 часа. За это время разрушается коллоидная структура осадка и часть его переходит в раствор, остальная часть хорошо уплотняется и далее фильтруется. Для этого осадок из резервуара накопителя под давлением подают в теплообменник, где он нагревается осадком, уже прошедшим тепловую обработку в реакторе или автоклаве. Затем осадок охлаждают и снижая давление подают в илоуплотнитель, после чего он подвергается обезвоживанию. Обезвоживание проводят в вакуум-фильтрах или в фильтрах-прессах. Нагревают осадок до температуры 170-200 °С паром, уплотняют в течение 2-4 часов. Достоинства – компактность установки. Кроме кондиционирования осадка происходит его стерилизация. Недостатки – сложность эксплуатации установки в соответствии с рисунком 38.



1 –резервуар, 2,7 –насосы, 3 -теплообменник; 4 –реактор, 5 -устройство для снижения давления; 6 -уплотнитель; 8,9 -аппараты механического обезвоживания.

Рисунок 38 - Схема установки тепловой обработки осадка.

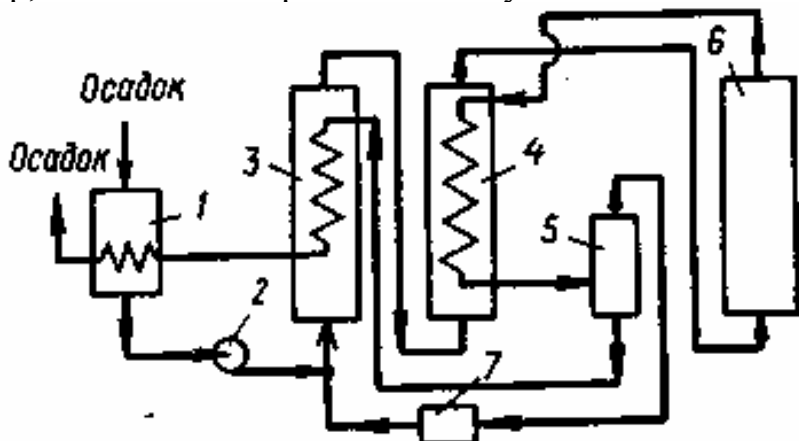
-замораживание с последующим оттаиванием – сущность заключается в том, что при замораживании часть связанной влаги переходит в свободную. При этом происходит коагуляция твёрдых частиц и уменьшается их сопротивление. При оттаивании осадки образуют зернистую структуру, это способствует увеличению влагоотдачи. Замораживание проводят при температуре минус 5 - минус 10 °С в течение 15-20 минут;

-жидкофазное окисление. Сущность метода заключается в окислении органической части кислородом воздуха при высокой температуре и высоком давлении в соответствии с рисунком 39.

В приемном резервуаре смесь сырого осадка и активного ила нагревают до температуры 45-50 °С, затем осадок с помощью насосов через теплообменник поступает в реактор, где происходит окисление. Уже из реактора продукты окисления, воздух и образующая зола направляются в



теплообменник, где происходит отдача тепла. После чего они возвращаются в сепаратор. Затем из сепаратора через теплообменник поступают в приемный резервуар, после чего направляются на уплотнение и обезвоживание.



1- резервуар, 2- насос, 3,4- теплообменники, 5- реактор, 6- сепаратор, 7- компрессор.

Рисунок 39 - Схема установки жидкофазного окисления.

4 Обезвоживание производится на иловых площадках или механическим способом:

а) иловые площадки представляют собой участки земли (корты), которые окружены со всех сторон земляными валами. Если почва хорошо фильтрует воду, и грунтовые воды находятся на большой глубине, иловые участки делают на естественных грунтах. Если грунтовые воды находятся на небольшой глубине 1,5 м, то фильтрат отводят через специальный дренаж, либо делают искусственное дно. Образующуюся иловую воду направляют на очистные сооружения. Принцип действия иловых площадок основан на расслоении осадка при отстаивании. При этом жидкость периодически отводят с разных глубин над слоем осадка, а осадок удаляют специальными машинами;

б) механическое обезвоживание производят с помощью фильтров. Чаще всего используют вакуумные фильтры и фильтры – прессы. При использовании вакуум-фильтров из осадков может быть удалено 80% воды, фильтров-прессов – 98 % воды. Для эффективного обезвоживания осадки обрабатывают реагентами-  $FeCl_3$  и  $CaO$ . Регенерацию фильтра проводят сжатым воздухом.

5 Термические методы – выделяют сушку, она проводится в тех случаях, когда осадок подвергается рекуперации. В качестве сушильного реагента используют топочные газы, пар или горячий воздух. Чаще всего используют дымовые газы с температурой 500-800 °С. Для сушки используют сушильные барабаны диаметром 1-3,5 м, длина от 6 до 27 м. Сушильный барабан устанавливается под углом 30-40 градусов. Высушенный материал удаляется транспортером. Отходящие газы затем отправляются на очистку, влажность осадка после сушки составляет 30-35 %. Производительность таких установок

до 15 т/ч. Основной недостаток данного метода – большая громоздкость сушилок, большая металлоёмкость и высокие затраты.

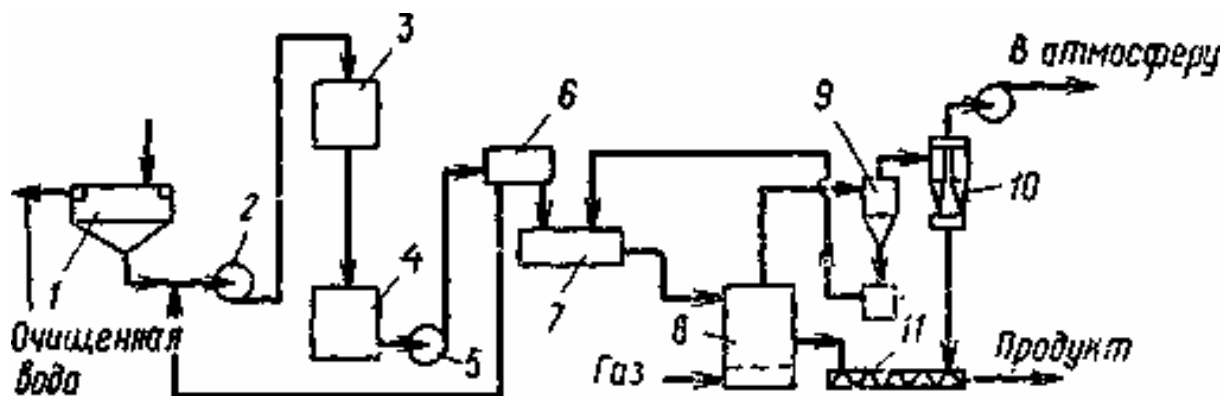
К термическим методам относят также сжигание, его проводят в том случае, когда утилизация осадков нецелесообразна или невозможна. В процессе сжигания объём осадка уменьшается в 100 раз. Образующиеся дымовые газы содержат  $\text{CO}_2$ , пары воды и различные компоненты в зависимости от состава осадка. Сжигание включает несколько стадий: нагревание; сушка; отгонка летучих соединений; сжигание горючей органической части; прокаливание для удаления остатков углерода.

На нагревание и сушку осадка расходуется основное количество тепла и времени. Осадки сжигают в печах с кипящим слоем. Процесс протекает очень быстро, достаточно энергоёмкий.

#### 6 Рекуперация активного ила

Считая на сухое вещество, активный ил содержит 37 - 52 % белков, 20 - 35 % аминокислот, а также витамины группы В. Он может быть использован для кормления животных, рыб и птиц. Разработаны различные технологические схемы получения белково-витаминного кормового продукта (белвитамила), производства смеси кормовых дрожжей с илом и получения технологического витамина  $\text{B}_{12}$  для комбикормовой промышленности:

а) получение белвитамила. Схема получения белвитамила показана на рисунке 40. Избыточный активный ил из отстойника поступает в уплотнитель, затем на центрифугу, где сгущается до влажности 70-80 %. После этого он поступает в шнековый гранулятор и в сушилку, где при 120-200 °С высушивается до остаточной влажности 5-10%. Продукт упаковывают, а газы очищают в циклонах.



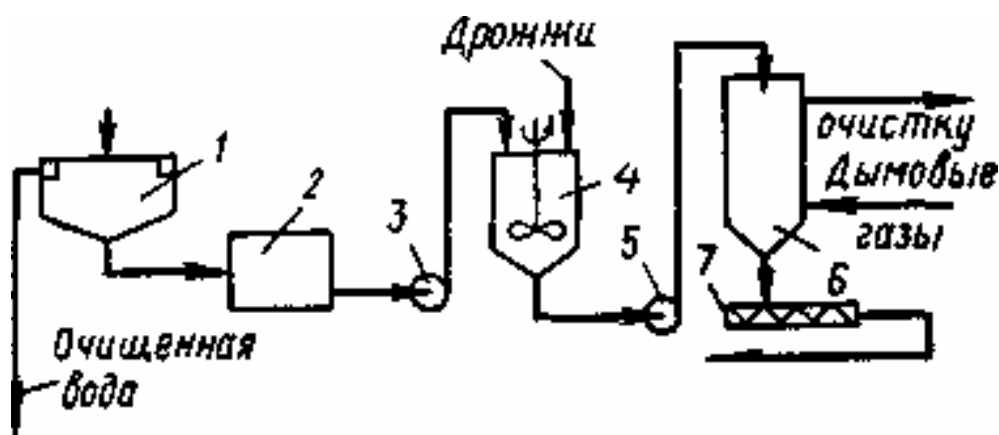
1 -вторичный отстойник; 2,5 -насосы; 3 -уплотнитель; 4 -емкость; 6 - центрифуга; 7 -шнековый гранулятор; 8 -сушилка; 9 -циклон; 10 -батарейный циклон; 11-шнековый транспортер.

Рисунок 40 - Схема установок для получения белвитамила.

б) получение технического витамина  $\text{B}_{12}$  для комбикормовой промышленности. Витамин  $\text{B}_{12}$  (кабаламин) является антианемическим средством, стимулирует и регулирует процесс кроветворения, оказывает действие на рост, регулирует основные обменные процессы в печени,

влияет на сохранение нормальной деятельности нервной системы. Получение витамина В<sub>12</sub> состоит из нескольких стадий. Активный ил уплотняют до влажности 95-96 %, затем подкисляют серной кислотой до рН=3 и направляют в реактор, где подогревают паром до 110 °С. После охлаждения из ила в центрифуге отделяют твердые частицы, которые сушат, дробят и затем используют как удобрение, а фильтрат направляют в коагулятор, где обрабатывают щелочью до рН=5. В коагуляторах массу отстаивают 1-6 ч, затем осадок отделяют на центрифуге и перерабатывают в удобрение, а фильтрат выпаривают, обрабатывают щелочью, сушат и дробят. Готовый продукт расфасовывают

в) получение смеси кормовых дрожжей с активным илом. Для повышения качества дрожжей, обогащения их витамином В<sub>12</sub> готовят смеси дрожжей с активным илом, путем смешением сухих компонентов дрожжей и ила в соотношении 10:1. При этом обеспечивается необходимое количество в смеси витамина В<sub>12</sub>. Кормовая смесь может быть приготовлена смешением сгущенных компонентов дрожжей с илом. Активный ил влажностью 96,5 % из вторичных отстойников направляют в емкость, откуда насосом подают в смеситель, в который поступают и концентрированные дрожжи. Образующуюся смесь сушат. Процесс происходит в соответствии с рисунком 41;



1-вторичный отстойник; 2 -емкость; 3, 5 -насосы; 4 -смеситель; 6 - сушилка; 7 –шнек.

Рисунок 41 - Схема получения кормовых дрожжей с активным илом.

г) получение белка. Для получения белка экстракционным способом сгущенный активный ил обрабатывают соляной кислотой так, чтобы концентрация ее после перемешивания равнялась децинормальной. В таких условиях смесь выдерживают 24 ч при периодическом перемешивании. После отделения воды ил обрабатывают 0,1 н. NaOH и выдерживают сутки. Затем щелочную жидкую фракцию, отделенную от ила, нагревают до 80-90 °С, охлаждают до 25 °С и осаждают белок, добавляя 10 %-ную соляную кислоту до рН=4,6-4,7. Белок высушивают и расфасовывают;

д) получение активного угля. Высушенный избыточный активный ил подкисляют и смешивают с формальдегидом. Далее проводят карбонизацию, т. е. пиролиз в печах без доступа воздуха при 700-800 °С. Чем выше температура, тем плотнее получается материал, снижается его реакционная способность из-за уменьшения объема пор. В процессе карбонизации выделяются летучие соединения. Карбонизат подвергают активации кислородом, водяным паром или диоксидом углерода. Активирование кислородом воздуха дает удовлетворительные результаты при 350-450 °С. При активировании водяным паром и диоксидом углерода в качестве катализаторов добавляют карбонаты калия или кальция. Микропоры образуются при взаимодействии углерода с водяным паром и диоксидом углерода. Оптимальная температура активации 750-1000 °С. Процесс проводят в печах разной конструкции. После активации производят тонкий размол и рассев материала. Для получения гранулированного угля порошкообразный материал после карбонизации смешивают со связующим, формируют гранулы, а затем активируют.

### 3.13 Контрольные вопросы

1. Классификация методов переработки (очистки, регенерации) промышленных и сельскохозяйственных сточных вод.
2. Какие методы используются для очистки от взвешенных веществ?
3. Какие методы используются для очистки от органических веществ?
4. Основные методы очистки сточных вод от неорганических растворённых веществ.
5. Методы обессоливания.
6. Химические методы очистки сточных вод (нейтрализация).
7. Очистка сточных вод с помощью окисления и восстановления.
8. Аэробные процессы биохимической очистки.
9. Состав активного ила и биопленки.
10. Биохимический показатель.
11. Закономерности распада веществ в процессе биохимического окисления.
12. Влияние различных факторов на скорость биохимического окисления.
13. Биологическая очистка сточных вод в природных условиях.
14. Биохимическая очистка сточных вод в аэротенках.
15. Очистка сточных вод в биофильтрах.
16. Анаэробные методы биохимической очистки.
17. Обработка осадков.
18. Уплотнение активного ила и стабилизация осадков.
19. Кондиционирование осадков.
20. Обезвоживание и термические методы обработки осадков.
21. Рекуперация активного ила.

## **4 Переработка и утилизация отходов производства и потребления**

### **4.1 Классификация отходов. Вторичные материальные ресурсы**

*Отходы* - некондиционные остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, образовавшиеся в процессе производства и потребления товарной продукции, или товарная продукция, полностью или частично утратившая свои потребительские свойства в процессе использования или хранения, или продукты производства, образованные попутно с товарной продукцией, которые могут быть использованы в качестве сырья, материалов, полуфабрикатов.

*Опасные отходы* - отходы, содержащие вещества, обладающие специфическими свойствами (токсичность, инфекционность, взрывчатость, пожароопасность и др.), превращающими эти вещества при определенных их количествах, концентрациях и формах существования в непосредственную или потенциальную угрозу жизни и здоровью людей или окружающей среде самостоятельно или при вступлении в контакт с другими веществами. Они подразделяются на химически опасные, пожароопасные и взрывоопасные.

К *радиоактивным отходам* относят не подлежащие дальнейшему использованию вещества и материалы технологического происхождения, в которых ионизирующая активность радионуклидов превышает допустимые уровни.

*Хранение отходов* - содержание отходов в объектах размещения отходов в целях их последующего захоронения, обезвреживания или использования.

*Захоронение отходов* - изоляция отходов, не подлежащих дальнейшему использованию, в специальных хранилищах в целях предотвращения попадания вредных веществ в окружающую среду.

*Обезвреживание отходов* - обработка отходов, в том числе сжигание и обеззараживание на специализированных установках, в целях предотвращения вредного воздействия отходов на здоровье человека и окружающую среду.

*Утилизация отходов* - технологическая операция, в результате которой из отходов производится товарная продукция или они становятся пригодными для употребления с пользой на предприятии-производителе.

Отходы классифицируют:

-*по источникам образования*: растительные, минеральные, химические, животные;

-*по степени использования*: полностью используемые, частично используемые, неиспользуемые;

-*по агрегатному состоянию*: газообразные, жидкие, твердые и условно твердые (пастообразные);

- по химическому составу: органические и неорганические;
- по генезису (происхождению): бытовые и производственные (промышленные, сельскохозяйственные, промысловые);
- по возможности применения: вторичные материальные ресурсы, которые используются или пригодны к эффективному употреблению на данном этапе развития науки и техники; отбросы; безвозвратные потери;
- по токсическому действию: первый класс (чрезвычайно опасные вещества), второй (высокоопасные), третий (умеренно опасные) и четвертый (малоопасные);
- по способности к самостоятельному горению: горючие и негорючие.

4.1.1 Характеристика источников образования твердых отходов в материальном производстве.

Производство как источник отходов должно характеризоваться следующими параметрами:

- 1) количеством отходов;
- 2) концентрациями веществ в отходах;
- 3) объемом накапливаемых отходов или среды, в которой они расположены;
- 4) токсичностью наиболее опасных веществ в отходах.

Существует количественная и качественная оценка отходов. Количество отходов или объем их генерирования определяется как произведение удельного выхода отхода на количество выпускаемой продукции или концентраций отходов на объем среды, проходящей через технологический процесс:

$$M = m \cdot n = C \cdot V_c,$$

где  $m$  – г/единицу продукции;

$n$  – единица продукции.

Качественная оценка проводится по 6 уровням:

- 1) происхождение, рассматривается источник образования;
- 2) фазовый состав – характеристика агрегатного состояния;
- 3) химический состав, то есть, компонентный;
- 4) определение экономической функции отходов, то есть, какие ценные компоненты содержатся в отходах;
- 5) определение экологической функции отходов, какие токсичные компоненты есть в отходах;
- 6) определение способов утилизации отходов, хранение или захоронение.

4.1.2 Реальные химико-технологические схемы переработки твердых бытовых отходов и твердых промышленных отходов.

Схемы переработки твердых бытовых отходов и твердых промышленных отходов показаны на рисунке 42.

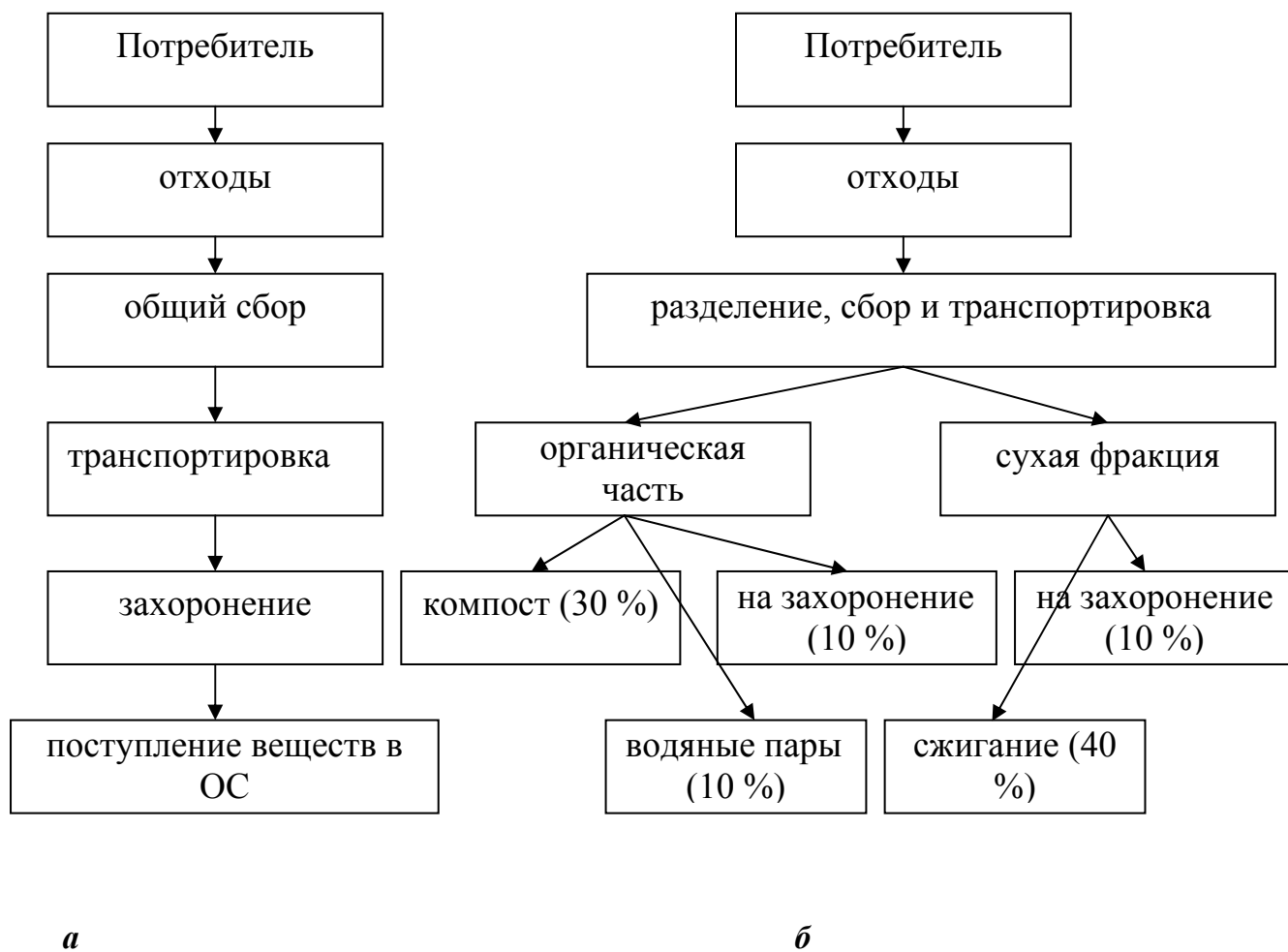


Рисунок 42 - Химико-технологические схемы переработки твердых бытовых отходов (а) и твердых промышленных отходов (б).

#### 4.2 Общие и специальные методы переработки твердых отходов

Классификация методов переработки твердых отходов представлена на рисунке 43.

В качестве основных технологических показателей дробления рассматривают степень дробления.

Степень дробления  $i$  выражает отношение размеров кусков подлежащего дроблению и кусков раздробленного материала:

$$i = D_{\text{макс}} / d_{\text{макс}} = D_{\text{ср}} / d_{\text{ср}}$$

где  $D_{\text{макс}}$  и  $d_{\text{макс}}$  - диаметр максимального куска материала соответственно до и после дробления;

$D_{\text{ср}}$  и  $d_{\text{ср}}$  - средневзвешенный диаметр кусков соответственно исходного материала и продукта дробления.



Рисунок 43 – Классификация методов переработки твердых отходов.

Размеры  $D_{\text{макс}}$  и  $d_{\text{макс}}$  определяют стадии крупного, среднего и мелкого дробления, характеризующиеся показателями, представленными в таблице 4.

Таблица 4 – Показатели, характеризующие стадии крупного, мелкого и среднего дробления.

Дробление	$D_{\text{макс}}$ , мм	$d_{\text{макс}}$ , мм
Крупное	1200—500	350—100
Среднее	350—100	100—40
Мелкое	100—40	30—5

Энергоемкость дробления рассчитывают по формуле:

$$E=N/Q$$

где  $N$ - мощность двигателя дробилки, в кВт;  
 $Q$ - производительность дробилки, т/ч.



Для дробления большинства видов твердых отходов используют конусные, валковые и роторные дробилки различных типов. Для разделки очень крупных отходов применяют механические ножницы, дисковые пилы, ленточнопильные станки и некоторые другие механизмы и приемы (например, взрыв). Технология дробления может быть организована с использованием либо открытых циклов работы дробилок, когда перерабатываемый материал проходит через дробилку только один раз, либо замкнутых циклов с грохотом, надрешетный продукт которого возвращают в дробилку.

Метод измельчения используют при необходимости получения из кусковых отходов фракций крупностью менее 5 мм. Процессы измельчения широко распространены при переработке отвалов вскрышных пород, вышедших из строя строительных конструкций и изделий, некоторых видов смешанного лома из черных и цветных металлов.

Наиболее распространенными агрегатами грубого и тонкого измельчения, используемыми при переработке твердых отходов, являются стержневые, шаровые и ножевые мельницы. Мелющими телами в стержневых и шаровых мельницах являются размещаемые в их корпусах стальные стержни и стальные или чугунные шары. Стержневые мельницы обычно применяют для грубого измельчения отходов (содержание класса-0,074 мм в продукте достигает 25-30 %). По сравнению с шаровыми мельницами они обеспечивают более равномерный по крупности продукт и меньшее количество шламов. Шаровые мельницы с решеткой применяют, в основном, для сравнительно крупного измельчения, а мельницы с центральной разгрузкой чаще применяют для тонкого и особо тонкого измельчения (содержание класса -0,074 мм в продукте достигает 50-60 %).

#### 4.2.2 Классификация и сортировка

Эти процессы используют для разделения твердых отходов на фракции по крупности. Они включают методы грохочения кусков перерабатываемого материала, то есть их разделение под действием гравитационно-инерционных и гравитационно-центробежных сил. В тех случаях, когда классификация имеет самостоятельное значение, т.е. преследует цель получения той или иной фракции материала в качестве готового продукта, ее часто называют сортировкой.

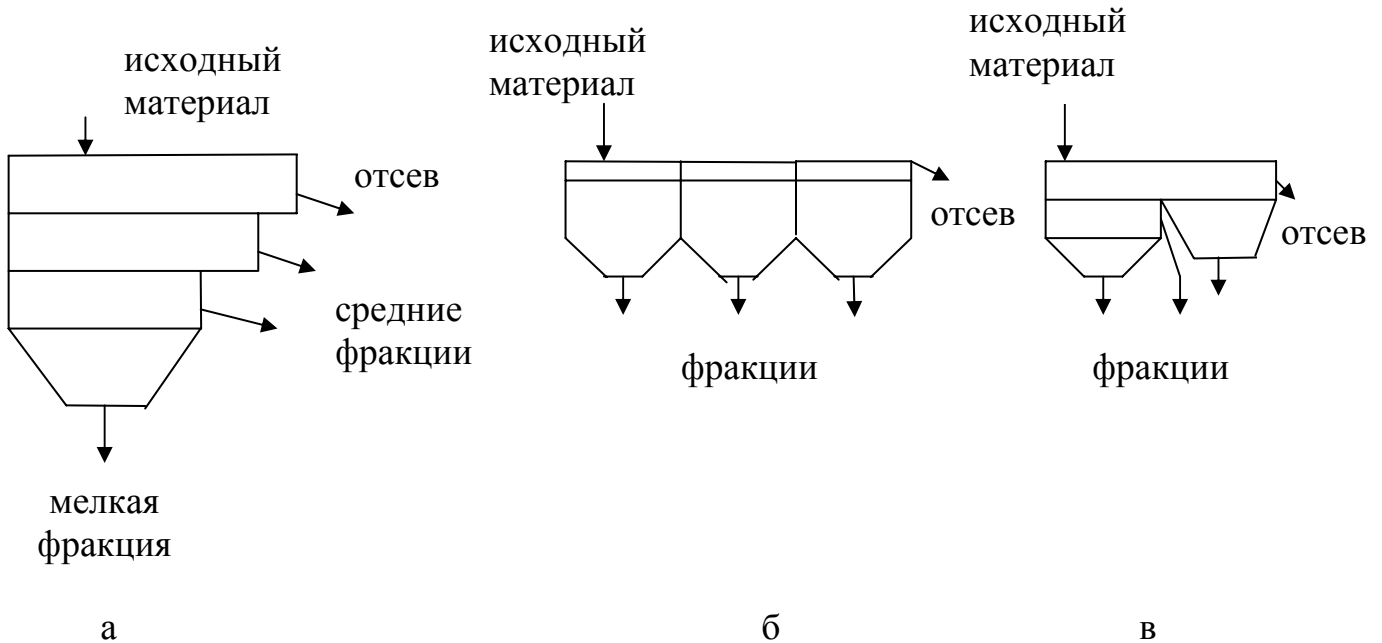
Грохочение представляет собой процесс разделения на классы по крупности различных по размеру кусков материала при его перемещении на ячеистых поверхностях. В качестве последних используют колосниковые решетки, решета, сетки и сита, выполненные из различных металлов, резины и полимерных материалов. При грохочении используют неподвижные колосниковые, барабанные вращающиеся, дуговые, ударные, плоские качающиеся и т.д. грохоты. Технологически при выделении более двух классов перерабатываемого материала грохочение может быть оформлено в виде различных вариантов в соответствии с рисунком 44.

Основным показателем грохочения является его эффективность  $E$ , определяемая отношением количества подрешетного продукта к его общему количеству в исходном материале (%):

$$E = 10^4 (\alpha - \sigma) / \alpha (100 - \sigma)$$

где  $\alpha$  и  $\sigma$  - содержание нижнего класса соответственно в исходном материале и надрешетном продукте, %.

Удельная объемная производительность грохота  $q$  [в  $\text{м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$ ] зависит от ширины  $d$  (в мм) щели решетки:  $q = 170\sqrt{d}$



а - от крупного к мелкому; б - от мелкого к крупному; в - комбинированный способ.

Рисунок 44 - Схемы выделения материалов различных классов при грохочении.

Крупность исходного материала может изменяться от 0,074 до 12 мм, содержание твердого материала в питании от 7 до 70 %, эффективность грохочения достигает 75-80 %.

Для разделения твердых материалов в виде пульпы наиболее распространены гидроциклоны и спиральные классификаторы. Первые из них используют для получения грубых сливов крупностью от 0,2 до 0,5 мм (иногда до 1 мм), вторые - для получения тонких сливов (80-90 % класса -0,074 мм).

Полноту разделения при классификации характеризуют коэффициентом разделения  $K_E$ :

$$K_E = \alpha - \sigma$$

#### 4.2.3 Методы переработки отходов, связанные с укрупнением частиц.

Их используют при переработке в строительные материалы ряда компонентов отвальных пород, в процессах утилизации фосфогипса в сельском хозяйстве и цементной промышленности, в процессах утилизации пластмасс:

##### 1 Гранулирование

Грануляция - процесс превращения выпускаемых из печи шлаковых расплавов, при резком их охлаждении, в кусочки размером 1-5 мм. Методы гранулирования охватывают большую группу процессов формирования агрегатов обычно шарообразной или (реже) цилиндрической формы из порошков, паст, расплавов или растворов перерабатываемых материалов.

В общем случае гранулирование включает следующие технологические стадии переработки: подготовку исходного сырья, дозирование, смешение компонентов; собственно гранулообразование (агломерация, наслаивание, кристаллизация, уплотнение); стабилизацию структуры (упрочнение связей между частицами сушкой, охлаждением или полимеризацией); выделение товарной фракции (классификация по размерам, дробление крупных частиц).

По *агрегатному состоянию* способы грануляции разделяются на мокрые, полусухие и сухие. В *мокрых* способах охладителем является вода. В *полусухих* способах (гидрожелобных, барабанных и водо-воздушных) охлаждение выполняется меньшим количеством воды, зачастую в комбинации с воздухом. В *сухих* способах непосредственным охлаждающим агентом служит воздух, вода в прямом контакте со шлаком не участвует.

Методы гранулирования целесообразно классифицировать следующим образом:

-окачивание (формирование гранул в процессе их агрегации или послойного роста с последующим уплотнением структуры). Гранулирование порошкообразных материалов окачиванием наиболее часто проводят в ротационных (барабанных, тарельчатых) и вибрационных грануляторах различных конструкций. Барабанные грануляторы характеризуются большой производительностью (до 70 т/ч), относительной простотой конструкции и сравнительно невысокими удельными энергозатратами. Однако барабанные грануляторы не обеспечивают возможности получения гранулята узкого фракционного состава, контроля и управления соответствующими процессами.

Для получения гранулята, близкого по составу к монодисперсному, используют тарельчатые (дисковые) грануляторы окачивания. Обычно применяют тарели (чаши, диски) диаметром 1-6 м, с высотой борта до 0,6 м. Тарельчатые грануляторы экономичнее барабанных, они более компактны и требуют меньших капитальных вложений. Их недостатком являются узкие пределы рабочих режимов. На практике используют грануляторы производительностью до 125 т/ч;

-диспергирование жидкости в свободный объем или нейтральную среду (образование и отвердевание капель жидкости при охлаждении в газе или жидкости);

-диспергирование жидкости на поверхность гранул, находящихся во взвешенном состоянии (кристаллизация тонких пленок в результате их обезвоживания или охлаждения на поверхности гранул);

-прессование сухих порошков (получение брикетов и плиток с последующим их дроблением на гранулы требуемого размера). В этом случае имеется промежуточная стадия, называемая пластификацией частиц. Она происходит под действием давления и нагрева. В результате образуется коагуляционная структура, которая быстро переходит в кристаллизационную. Прессовое гранулирование проводят в валковых и таблеточных машинах различной конструкции, червячных и ленточных прессах. Валковые грануляторы снабжают прессующими элементами с рабочей поверхностью различного профиля, что позволяет получать спрессованный материал в виде отдельных кусков (обычно с поперечником до 30 мм), плиток, полос. Производительность валковых грануляторов различна, обычно в пределах 5-100 т/ч.

В технологии производства из промышленных отходов катализаторов, витаминных, лечебных и ряда других препаратов порошковые материалы гранулируют с использованием таблеточных машин, принцип действия большинства которых основан на прессовании дозируемых порошков в матричные каналы. Приготавливаемые таблетки характеризуются разнообразной формой (цилиндры, сферы, диски, кольца). Производительность таблеточных машин составляет от 3 до 96 тыс. таблеток в 1 ч.;

-формование или экструзия (продавливание вязкой жидкости или пастообразной массы через отверстия). Прессовое гранулирование порошков и паст реализуют в червячных прессах (экструдерах) различной конструкции, рабочими элементами которых являются червяки (шнеки) или валки, пластицирующие перерабатываемый материал и продавливающие его через перфорированную решетку, по выходе из которой сформованные жгуты либо ломаются под действием собственной тяжести, либо их режут (рубят) ножом до или после охлаждения.

Способность гранулируемых материалов к уплотнению и формованию характеризуют значениями коэффициентов их гранулируемости  $K_1$  и  $K_2$ :

$$K_1 = (\gamma - \gamma_0) / p_{nl}$$

$$K_2 = \sigma / p_{nl}$$

где  $\gamma$  и  $\gamma_0$  - текущая и исходная плотность гранулируемого материала, т/м<sup>3</sup>;

$\sigma$  - предел прочности гранул при сжатии, Па;

$p_{nl}$  - давление уплотнения, соответствующее началу упруго-пластической деформации, Па.

Величины  $K_1$  и  $K_2$  позволяют обоснованно рекомендовать соответствующий метод гранулирования для данного материала: чем больше

значения  $K_1$  и  $K_2$ , тем меньшими усилиями обеспечивается заданная степень уплотнения материала.

## 2 Брикетирование

Методы брикетирования используют в качестве подготовительных (с целью придания отходам компактности при транспортировании и хранении) и самостоятельных операций (изготовление товарных продуктов).

Брикетирование дисперсных материалов проводят без связующего материала при давлениях прессования, превышающих 80 МПа и с добавками связующих при давлениях, обычно ограниченных 15-25 МПа. На процесс брикетирования оказывают влияние крупность материала, температура, удельное давление и продолжительность прессования. Перед брикетированием материал обычно подвергают грохочению, дроблению, сушке и охлаждению.

В практике брикетирования твердых отходов используют различные прессовые механизмы. При брикетировании дисперсных материалов наибольшее распространение получили штемпельные (давление прессования 100-120 МПа), вальцовые и кольцевые (200 МПа) прессы различных конструкций

## 3 Высокотемпературная агломерация

Этот метод используют при переработке пыли, мелочи рудного сырья в металлургических производствах, пиритных огарков (отходы, образующиеся в результате выделения серной кислоты) и других дисперсных железосодержащих отходов. Для проведения агломерации на основе таких отходов готовят шихту, включающую твердое топливо (6-7 % по массе), и другие компоненты (концентрат, руда, флюсы- соединения кремния). Увлажненную до 5-8 % шихту размещают в виде слоя определенной высоты, обеспечивающей оптимальную газопроницаемость. Воспламенение и нагрев шихты обеспечивается пропуском через ее слой продуктов сжигания газообразного или жидкого топлива и воздуха. Процесс спекания минеральных компонентов шихты идет при горении ее твердого топлива (1100-1600 °С). Спеченный агломерат дробят до крупности 100-150 мм. Фракцию, содержащую частицы размером 8 мм, выход которой составляет 30-35 %, возвращают на агломерацию.

Недостатком агломерационных машин является получение больших объемов разбавленных по загрязняющим компонентам агломерационных газов ( $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ).

### 4.2.4 Термическая методы.

Термическая методы включают:

-пиролиз (переработка отходов пластмасс, древесины, резиновых технических изделий, шламов нефтепереработки);

-переплавка (переработка отвальных металлургических шлаков, металлолома);

-обжиг (переработка пиритных огарков, ряда железосодержащих шламов и пылей);

-огневое обезвреживание (сжигание) многих видов твердых отходов на органической основе.

#### 4.2.5 Смешение порошкообразных и пастообразных материалов

Этот метод широко используют для усреднения состава дисперсных отходов.

Существующие смесительные механизмы периодического и непрерывного действия основаны на использовании механических, гравитационных и пневматических способов взаимного перемещения частиц обрабатываемых материалов.

Процессы смешения могут быть охарактеризованы:

- 1) степень однородности смешения  $i$  характеризует взаимное распределение веществ в результате реализации процесса:

$$i = (C_1 + C_2 + \dots + C_n) / n$$

где  $C_1, C_2, \dots, C_n$  - относительные концентрации одного из веществ в пробах;  
 $n$  - количество проб;

- 2) коэффициент неоднородности двухкомпонентной смеси

$$K_i = 100 / C_0 \sqrt{(C_i - C_0)^2 \cdot n(n-1)}$$

где  $C_i$  и  $C_0$  - концентрация вещества соответственно в пробах и в аппарате, %;

- 3) интенсивность смешения - скорость изменения степени смешения, оценивается отношением мощности  $N$ , затрачиваемой на перемешивание, к единице объема  $V$  смеси;

- 4) эффективность процесса оценивается количеством энергии, необходимой для достижения заданной степени однородности смешивания.

#### 4.2.6 Обогащение

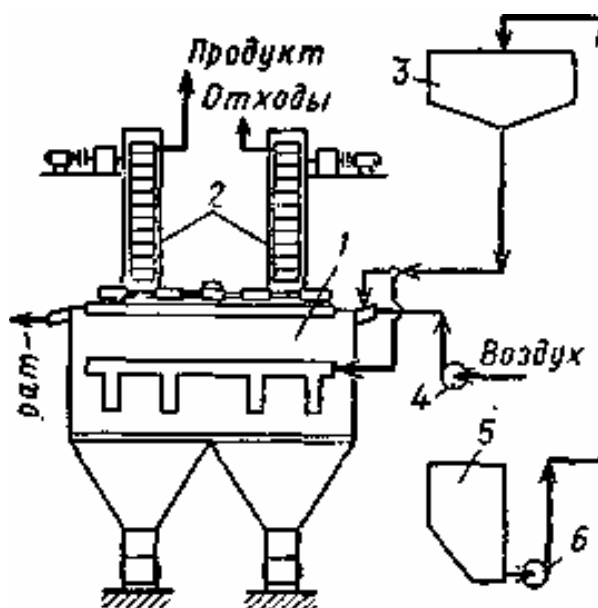
В практике рекуперации твердых отходов (особенно минеральных, содержащих черные и цветные металлы, смесей пластмасс) используют различные методы обогащения перерабатываемых материалов, подразделяемые на гравитационные, магнитные, электрические, флотационные и специальные:

- 1) гравитационные методы. Эти методы обогащения основаны на различии в скорости падения в жидкой (воздушной) среде частиц различного размера и плотности. Они объединяют обогащение отсадкой, в тяжелых суспензиях, в перемещающихся по наклонным поверхностям потоках, а также промывку:

- а) отсадка. Отсадка представляет собой процесс разделения минеральных зерен по плотности под действием переменных по направлению вертикальных струй воды или воздуха, проходящих через решето отсадочной машины в соответствии с рисунком 45.

Отсадке обычно подвергают предварительно классифицированные материалы оптимальной крупности 0,5-100 мм для нерудных и 0,2-40 мм для рудных материалов. При отсадке крупного материала находящийся

на решетке его слой толщиной в 5-10 диаметров наибольших частиц в подаваемом на переработку материале (питании) называют постелью.



1-отсадочная машина; 2 -элеваторы; 3 -бак оборотной воды; 4 -воздуходувка; 5 – зумпф питания; 6 -насос.

Рисунок 45 - Технологический комплекс отсадки.

При отсадке мелкого материала (до 3-5 мм) на решетке укладывают искусственную постель из крупных тяжелых частиц материала, размер которых в 3-4 раза превышает размер наиболее крупных частиц питания. В процессе отсадки материал расслаивается: в нижнем слое концентрируются тяжелые частицы, в самом верхнем - легкие мелкие. Получаемые слои разгружают отдельно;

б) обогащение в тяжелых суспензиях и жидкостях. Этот процесс заключается в разделении материалов по плотности в гравитационном или центробежном поле в суспензии или жидкости, плотность которой является промежуточной между плотностями разделяемых частиц.

Тяжелые суспензии представляют собой взвешенные в воде тонкодисперсные частицы тяжелых минералов или магнитных сплавов - утяжелителей, в качестве которых используют пирит, магнетитовый концентрат и другие материалы крупностью до 0,16 мм. В качестве тяжелых жидкостей используют растворы хлоридов кальция и цинка, хлорного олова.

Плотность суспензии (в г/см<sup>3</sup>) определяют по формуле:

$$\alpha_c = C(\alpha_y - 1) + 1$$

где  $C$  - объемная концентрация утяжелителя, доли единицы;  
 $\alpha_y$  - плотность утяжелителя, г/см<sup>3</sup>.

Масса утяжелителя (в г) в данном объеме суспензии составляет

$$m_y = V\alpha_y(\alpha_c - 1)/(\alpha_y - 1)$$

где  $V$  - объем суспензии, см<sup>3</sup>;

$\alpha_y$  и  $\alpha_c$  - плотность соответственно утяжелителя и суспензии, г/см<sup>3</sup>.

Для поддержания устойчивости суспензии в нее добавляют глину (до 3 % от массы утяжелителя) или применяют смесь порошков утяжелителей различной плотности. Наиболее распространенными аппаратами обогащения в тяжелых средах являются барабанные, конусные, колесные и гидроциклонные сепараторы;

в) обогащение в потоках на наклонных поверхностях. Эти процессы включают обогащение на концентрационных столах, а также в струйных, винтовых сепараторах, шлюзах и подшлюзках.

*Обогащение на концентрационных столах* характеризуется разделением минеральных частиц по плотности в тонком слое воды, текущей по наклонной плоскости стола (деке), совершающей возвратно-поступательные горизонтальные движения перпендикулярно направлению движения воды.

Деки бывают трапециевидной и прямоугольной формы. На части поверхности дек в продольном направлении закрепляют параллельно располагаемые рифли (планки переменной высоты и длины), длина которых увеличивается от верхнего к нижнему краю стола - краю разгрузки легких продуктов. Питание деки смывной водой ведут с ее верхнего края, при этом частицы разделяемого материала большей плотности оседают в межрифленных пространствах и под действием колебаний наклонной деки продвигаются вдоль рифлей, достигая места, где они отсутствуют, образуя веер частиц различной плотности, удаляемых отдельно. Неоседающие частицы меньшей плотности переносятся смывным потоком через рифли; их в виде отдельных продуктов отводят с поверхности концентрационного стола;

*Обогащение на винтовых, струйных сепараторах и шлюзах* происходит, как и на столах, в небольшой толщине (6-15 мм) потоке разделяемых материалов, подаваемых в верхнюю часть наклонного желоба.

Винтовые сепараторы представляют собой неподвижные вертикальные винтообразные желоба (число витков 4-6) с поверхностью специального профиля. В них тяжелые частицы потока сосредоточиваются в желобе ближе к вертикальной оси его витков и разгружаются посредством отсекателей в соответствующие приемники. Легкие частицы концентрируются у периферийной части желоба и разгружаются в нижней части сепаратора.

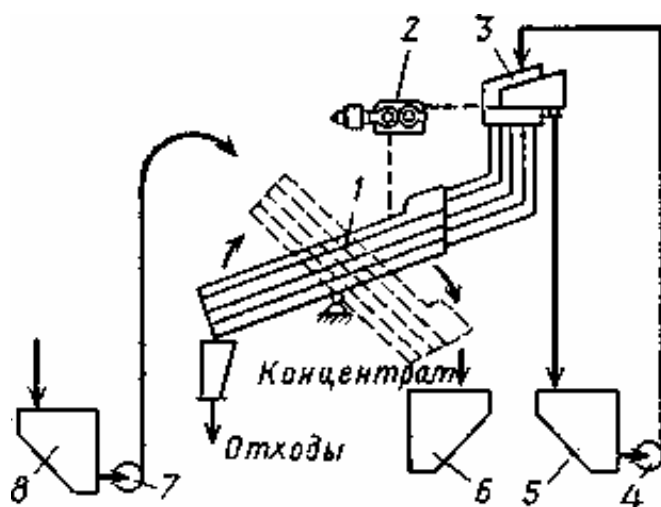
Разновидностью винтовых сепараторов являются винтовые шлюзы, характеризующиеся более широкими желобами и меньшими наклонами днищ желобов.



*Струйные сепараторы* снабжены суживающимся к нижнему концу и устанавливаемым под углом 15-20 градусов желобом или конусом. Исходный материал в виде пульпы (содержание твердого 50 - 60 %) загружают в верхнюю часть желоба. Частицы большей плотности концентрируются в нижних слоях потока, а меньшей плотности сосредоточиваются в верхних его слоях. Разделенные потоки частиц поступают в отдельные приемники.

Шлюзы характеризуются наличием наклонных (3-15 градусов) лотков с укрепленными на их дне трафаретами (бруски, уголки, сетки, ткань) для задержания тяжелых частиц. Эти аппараты могут быть неподвижными и подвижными, глубокого (высота потока до 0,4 м для переработки материалов крупностью от 20 до 100 мм и более) и мелкого (высота потока до 0,05 м для материалов крупностью до 20 мм) заполнения в соответствии с рисунком 46.

Аппараты мелкого заполнения называют подшлюзками. В них легкие частицы пульпы уносятся потоком через трафареты, частицы большей плотности собираются в трафаретных пространствах, после заполнения которых при прекращенной подаче пульпы производят их промывку водой с последующим смывом концентрата в приемник.



1-шлюз; 2 -привод; 3 -бак питания; 4, 7 -насосы; 5 -зумпф питания; 6 - зумпф концентрата; 8 -зумпф смывной воды.

Рисунок 46 - Обогащение на шлюзах.

г) промывка. Для разрушения и удаления глинистых, песчаных и других минеральных, а также органических примесей твердых отходов часто используют процессы их промывки, которые проводят в промывочных машинах. В качестве промывочного агента наиболее часто используют воду, иногда применяют острый пар и различные растворители;

д) флотация используется при переработке некоторых шламов, металлургических шлаков, рудных и нерудных компонентов отвалов.

Крупность флотируемых материалов обычно не превышает 0,5 мм. Наиболее распространенной является пенная флотация с использованием механических и пневмомеханических машин; пленочную флотацию ввиду ее низкой производительности и масляную флотацию ввиду ее дороговизны используют крайне ограниченно.

## 2 Магнитные методы

Используют для отделения парамагнитных (слабомагнитных) и ферромагнитных (сильномагнитных) компонентов твердых материалов от их немагнитных составляющих. Сильномагнитными свойствами обладают магнетит ( $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ), маггелит ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), титаномагнетит, слабомагнитные оксиды железа после их обжига и некоторые другие вещества. Ряд оксидов, гидроксидов и карбонатов железа, марганца, хрома и редких металлов относится к материалам со слабомагнитными свойствами. Слабомагнитные материалы обогащают в сильных магнитных полях (напряженностью  $H$  около 800-1600 кА/м), сильномагнитные - в слабых полях ( $H=70-160$  кА/м).

Удельной магнитной восприимчивостью  $\chi$  ( $\text{м}^3/\text{кг}$ ) называют объемную магнитную восприимчивость вещества  $K$ , отнесенную к его плотности  $\rho$ :

$$\chi = K/\rho.$$

Величина  $K$  выражает связь между магнитным моментом вещества и магнитным полем в этом веществе.

Подлежащие магнитной сепарации материалы как правило подвергают предварительной обработке (дробление, измельчение, грохочение и обжиг). Обычно магнитное обогащение материалов крупностью 3-50 мм проводят сухим способом, материалов, мельче 3 мм -мокрым. Магнитные сепараторы снабжены многополюсными открытыми или закрытыми магнитными системами, создающими различные типы магнитных полей. Они отличаются способами питания (верхняя или нижняя подача материала), характером движения обрабатываемого потока и эвакуации магнитных компонентов.

Эвакуируемые из магнитного поля зерна сильномагнитных материалов вследствие остаточной намагниченности могут образовывать разного вида агрегаты. С целью устранения последствий этого явления, называемого магнитной флокуляцией, используют многократное перемагничивание таких материалов в переменном магнитном поле размагничивающих аппаратов.

## 3 Электрические методы

Электрическое обогащение основано на различии электрофизических свойств разделяемых материалов и включает сепарацию в электростатическом поле, поле коронного разряда и коронно-электростатическом поле. С их помощью решают задачи обогащения, классификации и обеспыливания как рудного сырья и некондиционных продуктов в металлургии черных, цветных и редких металлов, так и многих неметаллических материалов (известняка, песка для стекольной промышленности и др.).

*Электростатическая сепарация* основана на различии электропроводности и способности к электризации трением минеральных

частиц разделяемой смеси. По электропроводности все минеральные частицы делятся на проводники, полупроводники и диэлектрики. При контакте частиц обогащаемого материала с поверхностью заряженного металлического электрода всем им сообщается одноименный заряд, величина которого зависит от электропроводности частиц. Электропроводные частицы интенсивно приобретают значительный заряд и отталкиваются от электрода, частицы диэлектриков сохраняют свои траектории. Таким образом происходит их разделение.

При небольшой разнице в электропроводности частиц используют электризацию их трением (путем интенсивного перемешивания или транспортирования по поверхности вибрлотка). Наэлектризованные частицы направляют в электрическое поле, где происходит их сепарация.

*Сепарация в поле коронного разряда*, создаваемого между коронирующим (заряженным) и осадительным (заземленным) электродами, основана на ионизации пересекающих это поле минеральных частиц оседающими на них ионами воздуха и на различии интенсивности передачи приобретенного таким образом заряда частицами проводников, полупроводников и диэлектриков поверхности осадительного электрода. Эти различия выражаются в различных траекториях движения частиц.

*Трибоадгезионная сепарация* основана на различии в адгезии (прилипанию) к поверхности наэлектризованных трением частиц разделяемого материала. Температура процесса сепарации существенно влияет на силу адгезии, которая усиливается или ослабляется электрическими силами, вызываемыми трибоэлектрическими зарядами. Помимо этого, на частицы действуют силы тяжести и центробежные силы, что в совокупности приводит к разделению частиц по вещественному составу и крупности.

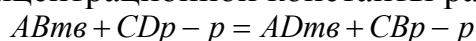
Подлежащие электрической сепарации материалы обычно подвергают подготовительным операциям (классификации, обесшламливанию, сушке, термообработке при температурах до 300 °С). Наиболее эффективно процесс сепарации идет при крупности частиц не более 5 мм.

4.2.7 Физико-химическое выделение компонентов при участии жидкой фазы. Многие процессы утилизации твердых отходов в промышленности основаны на использовании методов выщелачивания (экстрагирования), растворения и кристаллизации перерабатываемых материалов:

1) выщелачивание (экстрагирование) широко используется в практике переработки отходов горнодобывающей промышленности, металлургических и топливных шлаков, древесных отходов. Метод основан на извлечении одного или нескольких компонентов из комплексного твердого материала путем его избирательного растворения в жидкости -экстрагенте.

В зависимости от характера физико-химических процессов, протекающих при выщелачивании, различают простое *растворение* (целевой компонент извлекается в раствор в составе присутствующего в исходном материале соединения) и *выщелачивание с химической реакцией* (целевой компонент, находящийся в исходном материале в составе малорастворимого соединения, переходит в хорошо растворимую форму).

Минимальный расход реагентов, необходимый для полного извлечения в раствор целевого компонента, и возможность осуществления процесса определяются величиной концентрационной константы равновесия реакции.



$$K_c = [CB]/[CD]$$

Скорость выщелачивания обычно изменяется в ходе процесса и зависит от концентрации реагентов, температуры, интенсивности перемешивания, величины поверхности твердой фазы и характеризуется выражением:  $G/T = iS$

где  $G$  - количество выщелачиваемого вещества в твердой фазе;

$i$  - количество выщелачиваемого вещества, переходящее в раствор в единицу времени  $T$  с единицы поверхности твердой фазы (удельная скорость выщелачивания);

$S$  - поверхность взаимодействия фаз.

При выборе экстрагента (растворителя) к нему предъявляют ряд требований в отношении селективности, величины коэффициентов распределения и диффузии, плотности, горючести, коррозионной активности и токсичности. На процесс выщелачивания обычно существенное влияние оказывают такие параметры как концентрация экстрагента, размер и пористость зерен обрабатываемого материала, интенсивность гидродинамики, температура, наложение различных силовых полей и присутствие различных микроорганизмов (бактериальное выщелачивание).

Процессы экстракции могут быть периодическими и непрерывными. *Периодические* процессы проводят настаиванием (обработкой залитого экстрагентом материала в течение определенного времени с последующим сливом экстрагента и заменой его свежим) или вытеснением (образующийся экстракт непрерывно вытесняется из слоя материала чистым растворителем). *Непрерывные* процессы проводятся путем многоступенчатого контакта экстракта и экстрагента;

2) растворение. Этот метод заключается в гетерогенном взаимодействии между жидкостью и твердым веществом, сопровождаемым переходом последнего в раствор.

Возможность самопроизвольного растворения твердого вещества оценивается изменением энергии Гиббса, определяемой соотношением:

$$\Delta G = \Delta H_p - T\Delta S$$

где  $\Delta H$  - изменение энтальпии;

$\Delta S$  - изменение энтропии;

$T$  - абсолютная температура.

При  $\Delta G < 0$  возможно растворение,  $\Delta G = 0$  соответствует равновесию в системе, при  $\Delta G > 0$  вероятен процесс кристаллизации.

Процессы растворения осуществляют в аппаратах периодического (при небольших производительностях - в стационарном слое твердых частиц или с

перемешиванием) и непрерывного (во взвешенном слое или с перемешиванием) действия разнообразных конструкций;

3) кристаллизация - выделение твердой фазы в виде кристаллов из насыщенных растворов, расплавов или паров. Для оценки поведения растворов при их кристаллизации и рационального выбора способа проведения этого процесса используют диаграммы состояния растворов, выражающие зависимость растворимости соответствующих солей от температуры. Скорость процесса кристаллизации зависит от многих факторов (температуры, интенсивности перемешивания, содержания примесей и др.). Соотношение скоростей основных параллельных процессов возникновения зародышей кристаллов и их роста определяет величину суммарной поверхности зерен образующейся твердой фазы.

Создание необходимого для кристаллизации пересыщения раствора обеспечивают следующими основными приемами:

- охлаждением горячих насыщенных растворов;
- удалением части растворителя путем выпаривания (изотермическая кристаллизация);

- их комбинацией (вакуум-кристаллизация, кристаллизация с испарением растворителя в токе воздуха или другого газа-носителя);

- кристаллизация высаливанием (введение в раствор веществ, понижающих растворимость соли);

- вымораживанием (охлаждением растворов до отрицательных температур с выделением кристаллов соли или их концентрирование удалением части растворителя в виде льда) или за счет химической реакции, обеспечивающей пересыщение раствора;

- высокотемпературная кристаллизация, обеспечивающая возможность получения кристаллогидратов с минимальным содержанием кристаллизационной влаги.

### **4.3 Сбор, переработка, обезвреживание и утилизация твердых бытовых отходов**

Обращение с ТБО чаще всего начинается со сбора их в контейнеры и мешки. Контейнеры представляют собой стандартные, обычно в форме ящика, емкости для бестарной перевозки грузов, приспособленные для механизированной погрузки и выгрузки. Их обычно изготавливают металлическими или пластмассовыми. Масса помещаемых в них отходов не должна превышать 35 кг. В ряде случаев предпочтительнее мешки (пластиковые и бумажные) разового пользования. Однако бумажные и пластиковые мешки быстро рвутся, сами превращаясь в отходы.

При большом количестве твердых отходов для хранения следует применять металлические бункера больших объемов взамен многочисленных мешков или контейнеров малого размера. Для транспортирования контейнеров, мешков, бункеров используют специальные автомобили с устройством для

подъема емкостей (мусоровозы). Предпочтительнее мусоровозы закрытого типа, их можно использовать для работы при любых погодных условиях.

Общая схема организации сбора и вывоза ТБО предусматривает следующие технологические операции: накопление отходов в контейнерах (цистернах), вывоз контейнеров до места обезвреживания, разгрузку отходов, замену контейнеров на чистые, доставку порожних, чистых контейнеров с места сбора, новую загрузку контейнеров.

В настоящее время существуют две системы сбора и транспортирования отходов:

1) прямая (одноэтапная) система транспортировки обычно применяется при небольшом удалении мест образования отходов от объектов их переработки и обезвреживания;

2) централизованная система предусматривает двухэтапный сбор отходов. Зачастую они предварительно доставляются с определенной территории на централизованные участки (перевалочные станции). Здесь отходы без какой-либо переработки перегружают из транспортных средств для сбора отходов в транспортные средства их перемещения на большие расстояния с целью размещения на окончательное хранение или захоронение. Двухэтапная система с применением мусороперегрузочных станций (МПС) эффективна при средней и большой дальности перевозок ТБО и обычно используется в крупных городах.

Создание сети МПС позволяет повысить экономическую эффективность и экологическую безопасность транспортировки ТБО за счет более эффективного использования собирающих и большегрузных транспортных мусоровозов, уменьшения объема транспортируемых отходов и степени загрузки транспортной сети города, улучшения условий размещения отходов на полигоне.

По производительности МПС подразделяются на малые (количество перерабатываемых отходов не более 50 т/сут), средние (50-100 т/сут) и крупные (более 100 т/сут). На ряде МПС предусмотрена операция уплотнения отходов. При ее отсутствии МПС эффективны лишь при малой производительности. В зарубежной практике большое распространение получили МПС со стационарными прессами для уплотнения ТБО в кузове транспортных мусоровозов, что позволяет максимально использовать их полезную грузоподъемность.

В целом в настоящее время в мировой практике используются четыре основных варианта доставки ТБО на дальние расстояния, которые часто комбинируются и дополняют друг друга. По первой схеме сбор производится автомобильным транспортом, доставляющим отходы непосредственно на места обработки или на перегрузочные станции, где они уплотняются и поступают на большегрузные автомобили. При этом предпочтение отдается перевозке в контейнерах. По второй схеме погрузка осуществляется в железнодорожные цистерны, вагоны или на платформы. Третья система предусматривает вывоз отходов водным транспортом. И, наконец, отходы могут доставляться на место

переработки контейнерным пневмотранспортом по трубам, проложенным по земле, под землей или под водой.

Способ сбора и транспортирование отходов определяется физическим состоянием и классом опасности веществ, их составляющих.

Для ближайшего будущего система сбора и переработки ТБО будет выглядеть следующим образом:

- площадка для приёма и первичного осмотра отходов;
- платформа предварительной сортировки (удаление крупногабаритных отходов, таких, как мебель, бытовая техника и т.д.);
- устройство для разрыва пакетов и отделения органической части отходов для последующей переработки (например, компостированием);
- платформа вторичной сортировки для ручного извлечения ценных компонентов для повторного использования (бумага, картон, различные виды пластмасс, стекло и т. д.) с последующим прессованием;
- секция магнитного выделения железосодержащих материалов (консервных банок, например) и прессования;
- секция для выделения изделий из цветных металлов (в первую очередь алюминиевых банок) за счёт наведённого электрического поля;
- оборудование для высокоплотного прессования неиспользуемых компонентов ТБО для вывоза на полигон.

#### **4.4 Характеристика полигонов как природоохранных сооружений**

Современные полигоны - это комплексы природоохранных сооружений, предназначенные для складирования и изоляции ТБО, обеспечивающие защиту от загрязнения почвы, поверхностных и грунтовых вод, препятствующие распространению грызунов, насекомых и болезнетворных микроорганизмов. Проект полигона захоронения отходов должен предусматривать защиту окружающей среды при размещении отходов, которые нельзя уменьшить, переработать, превратить в компост, сжечь или утилизировать каким-либо другим методом.

Наряду с бытовыми на полигонах ТБО хоронят часть промышленных отходов (ПО). Основное условие приема ПО на полигоны ТБО - соблюдение санитарно-гигиенических требований по охране атмосферного воздуха, почвы, грунтовых и поверхностных вод. Промышленные отходы III класса опасности для совместного складирования с ТБО должны иметь влажность не более 85 %, не быть взрывоопасными, самовоспламеняющимися и самовозгорающимися. Не принимаются ПО, температура воспламенения которых ниже 120 °С, а также все отходы, способные к самовозгоранию за счет химических реакций и выделения тепла в толще складированной массы.

Приему на полигоны не подлежат радиоактивные, а также пригодные для утилизации отходы: нефтепродукты, древесные (опилки, тара и т.д.).

Полигоны организуют двух видов: специализированные и комплексные.

Специализированные полигоны предназначены для обезвреживания одного вида отходов только захоронением или химическим способом.

Комплексные полигоны предназначены для централизованной переработки и обезвреживания твердых, пастообразных и жидких отходов с использованием нескольких способов их обезвреживания. Территорию комплексных полигонов разделяют в зависимости от вида отходов на зоны: приема и обезвреживания твердых негорючих отходов; приема и захоронения жидких и химических отходов и осадков сточных вод, не подлежащих утилизации; захоронения особо вредных отходов; огневого уничтожения горючих отходов.

Полигоны следует располагать в свободных от застройки, открытых, хорошо проветриваемых незатопляемых местах, на которых возможно осуществление мероприятий и инженерных решений, исключающих загрязнение населенных пунктов, зон массового отдыха и источников питьевого водоснабжения (открытых водохранилищ и подземных вод). Размер СЗЗ от полигона до населенных пунктов и открытых водоемов устанавливается с учетом местных условий (климат, рельеф, тип почв, направление ветров и т.д.), но не менее 3000 м. Полигоны должны располагаться на расстоянии не ближе 200 м от сельскохозяйственных угодий и транзитных магистральных дорог и 50 м от лесных массивов и лесопосадок. Их следует размещать, как правило, на участках со слабо фильтрующими грунтами (глина, суглинки, сланцы и т.д.).

Основание полигонов должно быть водонепроницаемым, поэтому в основании обязательно устройство противодиффузионных экранов и разгрузочных дренажей, исключающих эмиссию загрязняющих веществ в окружающую среду. Наиболее распространенными являются экраны из суглинка, полиэтиленовой пленки и битумно-латексных покрытий. Перед укладкой экрана всю поверхность обрабатывают гербицидами для предупреждения прорастания семян растений, способных нарушить его целостность.

Имеются два основных метода захоронения ТБО на полигоне - поверхностная и траншейная засыпки.

Поверхностная засыпка предпочтительнее при наличии лощин, глубоких ущелий, открытых карьеров или других подобных площадок. В этом случае доставленные отходы с помощью бульдозера распределяются и уплотняются, а в конце рабочей смены на них подается так называемое суточное покрытие. Землю для покрытия получают срезанием почвенного слоя засыпки.

Траншейная засыпка обычно применяется в условиях равнинной и холмистой местности. Твердые отходы с мусоровоза сбрасывают в выкопанные экскаватором траншеи, где бульдозер выравнивает и уплотняет их. Здесь также предусматривается суточное покрытие. Окончательное покрытие земель, вынужденной при рытье траншеи, наносят после ее заполнения. В обоих вариантах разгрузку, разравнивание и уплотнение необходимо выполнять так, чтобы получить тонкие ровные слои отходов и почвы, создать требуемый уклон.

После исчерпания площади, отведенной для захоронения, поверхность свалки рекультивируют. Однако в толще отходов еще в течение десятков лет идут биологические процессы анаэробного сбраживания органической части



отходов с выделением биогаза. На местах бывших крупных свалок в ряде случаев оказывается экономически выгодным наладить его промышленное использование.

#### **4.5 Технология складирования ТБО на полигонах (санитарных свалках)**

На санитарных свалках в процессе эксплуатации выполняют следующие основные работы: прием, складирование и изоляцию отходов. Основное сооружение полигона - участок складирования отходов, который обычно занимает до 95 % площади полигона. Его разбивают на очереди (участки) эксплуатации с учетом приема отходов в течение 3...5 лет. Заполняют каждую очередь по высоте ярусно. Высоту каждого яруса принимают 2-2,5 м, включая толщину слоя изоляции отходов минеральным грунтом. Участки складирования должны быть защищены от стока поверхностных вод, поступающих с вышерасположенных земельных массивов. Для перехвата дождевых и паводковых вод вокруг полигона проектируют водоотводную канаву.

Хотя ТБО обычно не относятся к токсичным, однако в случае неправильного размещения или конструктивных недостатков хранилища возможно значительное загрязнение почвы и водоемов. Поэтому, отходы складировать на грунт с соблюдением условий, обеспечивающих защиту от загрязнения атмосферы, почвы, поверхностных и грунтовых вод, препятствующих распространению болезнетворных микроорганизмов.

При складировании ТБО основными операциями являются: их радиационный дозиметрический контроль, разгрузка мусоровозов, разработка на месте грунта для изоляции, транспортировка к карте складирования ТБО, укладка ТБО слоями на карте, послойное уплотнение ТБО, доставка материала для изоляции ТБО, укладка промежуточных и окончательного изолирующих слоев.

На санитарных свалках организуют бесперебойную разгрузку мусоровозов, для чего площадку перед рабочей картой (загружаемой секцией) разбивают на две части (карты). На одном участке разгружаются мусоровозы, на другом работают бульдозеры или грунтоуплотняющие катки. Продолжительность приема мусоровозов под разгрузку на одном участке принимают 1-2 ч. Беспорядочное складирование ТБО за пределами рабочей карты, отведенной на текущие сутки, не допускается. Выгруженные из машин отходы складировать на рабочей карте шириной 5 м, длиной 30-150 м. Заполняют рабочие карты по методам «надвиг» и «сталкивание».

Методом «надвиг» рабочие карты заполняют перемещением отходов снизу вверх. Для этого бульдозеры сдвигают отходы с площадки разгрузки на рабочую карту, создавая слои высотой до 0,5 м, уплотняя и формируя из них вал с пологим откосом высотой 2 м от уровня площадки разгрузки мусоровозов. Вал следующей рабочей карты «надвигают» к предыдущему. Уплотненный слой ТБО высотой 2 м изолируют слоем минерального грунта толщиной 0,15-0,25 м

в зависимости от степени уплотнения отходов. По мере заполнения рабочих карт фронт работ перемещается от отходов, уложенных в предыдущие сутки, в сторону свободных рабочих карт.

Методом «сталкивание» рабочие карты заполняют, перемещая отходы сверху вниз. В этом случае мусоровозный транспорт разгружается на верхней площадке изолированной рабочей карты, сформированной в предыдущий день. По мере заполнения рабочих карт фронт работ перемещается вперед, по уложенным в предыдущие сутки ТБО.

Уплотнение ТБО позволяет увеличить нагрузку отходов на единицу площади, обеспечивая тем самым экономное использование земельных участков. Промежуточную и окончательную изоляцию уплотненного слоя ТБО осуществляют минеральным грунтом. При складировании ТБО на открытых незаглубленных картах промежуточную изоляцию в теплое время года проводят ежедневно, в холодное время года - с интервалом не более 3 суток. После закрытия полигонов поверхность земли рекультивируется для последующего использования земельного участка.

#### 4.6 Характеристика класса опасности почв в зависимости от степени загрязнения

Класс опасности веществ в почве устанавливается не менее, чем по 3 показателям (таблица 5).

Таблица 5 - Характеристика класса опасности почв в зависимости от степени загрязнения.

Показатель	Нормы для классов		
	1 класс	2 класс	3 класс
Токсичность	>1000	200-1000	<200
Персистентность в почве (месяц)	>12	6-12	<6
Персистентность в растениях (месяц)	>3	1-3	<1
ПДК в почве, мг/кг	<0,2	0,2-0,5	>0,5
Миграция	Не мигрирует	Слабо мигрирует	Мигрирует
Влияние на пищевую ценность	Сильно влияет	умеренно	Не влияет

Персистентность – способность химических веществ длительно сохранять свои свойства в окружающей среде и распространяться на большие расстояния.

Если в почве содержится несколько загрязняющих веществ, то степень опасности загрязнения оценивается по величине суммарного показателя (таблица 6):

$$Z_c = \sum_{i=1}^n Kc_i - (n-1)$$

где  $n$ -число определяемых элементов,  
 $K_{Ci}$ - коэффициент концентрации загрязняющего вещества, представляющий собой отношение концентрации примеси к её фоновому значению.

Таблица 6 – Критерии оценки степени загрязнения почвенного покрова.

Показатели	Параметры		
	1 класс опасности	2 класс опасности	3 класс опасности
Показатель хим. загрязнения почвы, $Z_c$	>128	32-128	<16

#### 4.7 Технологическая схема работы полигона

Современный полигон для складирования и изоляции ТБО включает следующие основные элементы, в соответствии с рисунком 47:

1) нижний противofильтрационный экран - слой глины, предназначенные для сбора фильтрата, его откачки и предотвращения попадания в грунтовые воды;

2) покрытие - ежедневное покрытие размещаемых отходов при завершении работ в конце каждого рабочего дня и заключительное, покрывающее заполненный полигон, для управления фильтрацией воды, газовой эмиссией и эрозией почвенного слоя. Покрытие также предотвращает непосредственный контакт отходов с окружающей средой;

3) фильтрат - жидкость, которая прошла через твердые отходы или появилась из них и содержит растворимые, взвешенные или осажденные материалы, выделенные из захороненных отходов. Фильтрат течет вниз, достигая дна полигона, но может также фильтроваться и через борта полигона;

4) система сбора фильтрата - дренажные трубы, размещенные в нижнем противofильтрационном экране или над ним, для сбора, отвода, хранения и возможной обработки фильтрата;

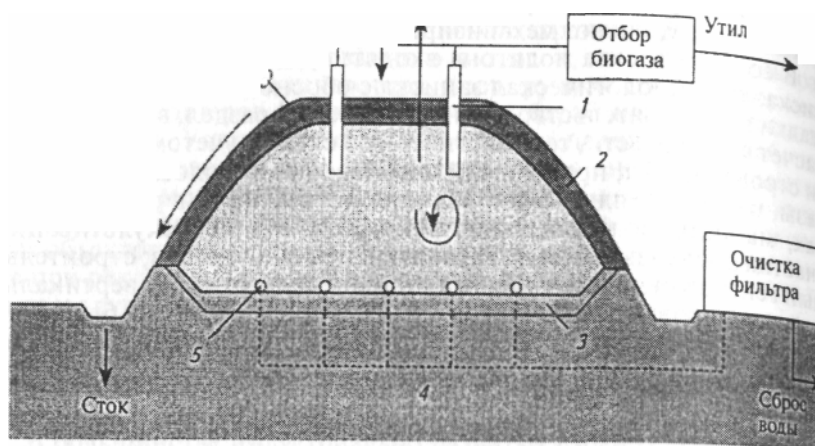
5) система сбора биогаза - это система нескольких рядов вертикальных колодцев или горизонтальных траншей, содержащих перфорированные трубы, помещенные в тело полигона, для сбора газа и его дальнейшей очистки в целях производительного использования как источника энергии. Биогаз - продукт анаэробного разложения органических отходов, представляющий смесь метана, диоксида углерода и небольших частей различных газов.

Временное хранение отходов осуществляется на стационарных складах. Допускается временное хранение отходов на специальной площадке под навесом при соблюдении следующих условий:

-содержание вредных веществ в воздухе над промышленной площадкой на высоте до 2 м от поверхности земли не должно превышать 30 % ПДК для рабочей зоны;

-содержание вредных веществ в подземных и поверхностных водах и в почве на территории предприятия не должно превышать ПДК этих веществ;

-площадка для временного хранения отходов должна располагаться в подветренной зоне территории и быть покрыта неразрушаемым и непроницаемым материалом.



1-скважина для отбора биогаза; 2 -верхнее перекрытие; 3 - противофильтрационный экран; 4 -сбор фильтрата; 5 -дренаж.

Рисунок 47 - Схема разреза полигона с набором конструктивных элементов.

#### 4.8 Классификация методов термической переработки ТБО

Все термические методы переработки в зависимости от температуры делятся на 2 большие группы:

- методы переработки при температуре, меньше  $t$  плавления шлака;
- методы переработки при температуре, больше  $t$  плавления шлака ( $130^{\circ}\text{C}$ ).

В свою очередь каждая из этих групп подразделяется на 3 подгруппы, которые классифицируются по процессам переработки отходов (таблица 7).

Наиболее часто используются методы переработки при температуре, меньше температуры плавления шлака. Вторая группа термических методов, т.е. реализуемая в шлаковых расплавах, пока не прошла промышленной апробации, за исключением процесса Ванюкова. Сжигание в слое шлакового расплава с использованием обогащенного кислородом дутья составляет суть процесса Ванюкова, или русской плавки. Наиболее очевидное преимущество обогащения дутья кислородом - уменьшение количества отходящих газов за счет снижения в них доли азота, с которой из печи выносится значительная часть тепла.

Таблица 7 - Классификация методов термической переработки.

Температура процесса	Характеристика процесса	Процесс переработки
t<t плавления шлака	Слоевое сжигание с принудительным перемешиванием материала	На переталкивающих решетках, на валковых решетках, во вращающихся барабанных печах
	Сжигание в кипящем слое	В стационарном кипящем; в вихревом; в циркулирующем слое
	Сжигание, газификация в плотном слое кускового материала без принудительного перемешивания и перемещения материала	Паровоздушная газификация
t>t плавления шлака	Сжигание в слое шлакового расплава	С использованием обогащенного кислородного дутья (процессы Ванюкова), с использованием в качестве дутья природного газа (фьюминг-процесс) и электрошлакового расплава
	Сжигание в плотном слое кускового материала и шлакового расплава без принудительного перемешивания и перемещения материала	Доменный процесс с использованием подогретого воздуха
	Комбинированные процессы	-пиролиз–сжигание отсепарированного углеродного остатка с использованием необогащенного дутья; -пиролиз-газификация, в результате чего получают синтез-газ при совместной термообработке пирогаза, отсепарированного от металлов, и минерального остатка с использованием обогащенного дутья; - пиролиз-газификация, в результате чего получают синтез-газ при совместной термообработке пирогаза, углеродистого остатка и минеральных веществ с использованием обогащенного природного дутья.

Снижение объема дымовых газов сокращает также затраты на газоочистку, количество образующихся при высоких температурах оксидов азота - загрязнителей окружающей среды.

#### **4.9 Обезвреживание, переработка и захоронение токсичных отходов**

Обезвреживание и захоронение токсичных отходов производится на специальных полигонах, которые размещают в обособленных, свободных от застройки, хорошо проветриваемых местах.

Полигоны для обезвреживания и захоронения токсичных промышленных отходов являются природоохранными сооружениями. Они предназначены для регулярного централизованного сбора, удаления, обезвреживания и захоронения неиспользуемых токсичных отходов и некондиционных продуктов (веществ) промышленных предприятий и научно-исследовательских организаций и учреждений, расположенных в одной или нескольких промышленных зонах. Обезвреживание и захоронение токсичных промышленных отходов является экологической необходимостью.

Технологическая схема работы полигона токсичных отходов должна предусматривать следующие основные мероприятия, позволяющие обеспечивать защиту окружающей среды:

- организацию сбора не утилизируемых токсичных отходов на предприятиях-поставщиках;
- организацию транспортировки токсичных отходов на полигон;
- организацию приема токсичных отходов на полигоне, их обезвреживание и захоронение.

Приему на полигон подлежат только токсичные отходы I, II, III и, при необходимости, IV классов опасности. Твердые промышленные отходы IV класса опасности могут вывозиться на полигоны складирования городских бытовых отходов и применяться в качестве изолирующего инертного материала в средней и верхних частях карт полигона. Прием твердых промышленных отходов IV класса опасности на участок захоронения токсичных промышленных отходов допускается при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Хранение токсичных отходов в открытом виде (навалом, насыпью) или в негерметичной открытой таре как на складе, так и на специальной площадке не допускается.

Твёрдые и пастообразные негорючие токсичные отходы I класса опасности и растворимые отходы II класса опасности отдельными партиями в небольших количествах собираются в специальные металлические контейнеры со стенками толщиной 10 мм, проверенные на герметичность. Пастообразные, быстро застывающие, органические горючие отходы, а также небольшие количества других жидких горючих отходов можно хранить в барабанах, бочках и другой металлической таре при условии вместимости тары не более 200 л. Жидкие токсичные промышленные отходы перед вывозом на полигон должны быть обезвожены на предприятиях. Допускается приём на полигон

жидких токсичных отходов только от промышленных предприятий, на которых обезвреживание отходов по техническим или экономическим причинам невыгодно. Твёрдые отходы обычно принимаются на хранение в железобетонные бункера, установленные в помещении. Для каждого вида пастообразных и жидких отходов предусматриваются специальные обогреваемые ёмкости, установленные на открытой площадке. Высоко агрессивные пастообразные отходы транспортируют в синтетических барабанах, объем которых составляет 60-100 л.

Отходы, поступающие на полигон должны иметь соответствующие паспорта, где указывается их состав, свойства, для того чтобы определить условия их хранения и методы обезвреживания.

Не подлежат приёму на полигон отходы следующих видов:

-отходы, для которых разработаны эффективные методы извлечения металлов или других веществ;

-радиоактивные отходы;

-нефтепродукты, подлежащие регенерации.

В составе полигонов токсичных отходов предусматривают строительство 3 основных объектов:

-цехов для обезвреживания токсичных ПО и некондиционных продуктов, предназначенных для их сжигания и физико-химической переработки с целью полного обезвреживания или понижения токсичности, перевода в нерастворимые формы и сокращения объемов, подлежащих захоронению;

-участка захоронения, представляющего собой территорию, на которой располагаются специально оборудованные карты или котлованы, куда складировать различные группы токсичных твердых отходов и загрязнений;

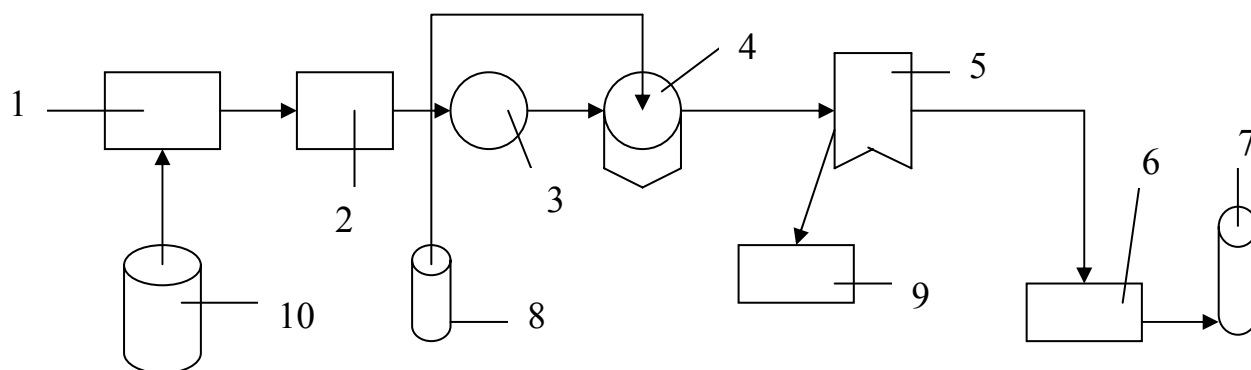
-гаража машин, предназначенных для транспортирования токсичных ПО.

В настоящее время наиболее распространенными методами обезвреживания токсичных отходов являются:

-для отходов органического происхождения - сжигание при высоких температурах (высокотемпературное обезвреживание токсичных отходов).

Поскольку большинство отходов (именно 2/3) представлено токсичными органическими веществами, высокотемпературное обезвреживание является необходимой технологической операцией для любого полигона (рисунок 48). Установка для сжигания твердых, жидких и пастообразных отходов состоит из системы подачи и дозировки отходов: печь с вращающимся барабаном, камера дожигания, система золо- и шлакоулавливания, котлы - утилизаторы и система очистки отходящих газов.

Время сжигания отходов определяется их составом. Время нахождения газов, образующихся при разложения отходов в печи, составляет 2 секунды. Процесс протекает при избытке кислорода. Обезвреживание 1 т отходов в среднем обходится в 500-600 долларов.



1-печь с вращающимся барабаном; 2-камера дожига; 3-паровой котел; 4-абсорбер; 5-рукавный фильтр; 6-вентилятор; 7-выходная труба; 8-емкость для приготовления абсорбера; 9-емкость для шлака и золы; 10-система загрузки сыпучих продуктов.

Рисунок 48- Схема установки для сжигания токсичных органических отходов.

#### 4.10 Условия сжигания и дожига токсичных органических отходов

Условия сжигания и дожига токсичных отходов:

-для отходов, не содержащих галогенопроизводные, температура сжигания 1000-1100 °С, эффективность очистки 99,9 %;

-для отходов, содержащих галогенопроизводные, температура сжигания 1200-1300 °С, эффективность очистки 99,9 %.

Для обезвреживания *токсичных неорганических отходов* применяют физико-химическую обработку в несколько стадий, которая способствует образованию безвредных, в большинстве случаев нейтральных и нерастворимых в воде соединений:

1) метод капсулирования заключается в обволакивании токсичных отходов инертной пленкой (полимерной или стеклообразной). Чаще всего используют цементирование. Данная технология применяется для отходов, содержащих воду, необходимую для процессов цементирования.

Недостатки: увеличение объемов отходов, деградация цемента. Этот метод используется для утилизации неорганических отходов, отходов, содержащих тяжелые металлы и радиоактивные вещества;

2) фиксация с использованием органических полимерных материалов. Для этого готовится смесь отходов с соответствующими смолами или мономерами. Затем вводится катализатор, который обеспечивает полимеризацию данной смолы или мономера с образованием определенного объема фиксируемого материала, обладающего сопротивлением на сжатие. При этом отходы химически не связаны с полимером. В качестве полимерных материалов используют формальдегидные, виниловые и полиэстровые соединения.

Недостатки: появление ядов паров в процессе полимеризации.



#### **4.11 Обезвреживание, переработка и захоронение радиоактивных отходов**

Существующая схема обращения с РАО включает несколько стадий:

- улавливание;
- технологическая обработка (концентрирование, упаковка);
- хранение;
- захоронение.

Жидкие слабо- и среднеактивные отходы (ЖРО) перед сбросом в окружающую среду во всех случаях подвергают очистке. Транспортирование ЖРО осуществляется в цистернах. Запрещается удаление ЖРО в колодцы, скважины, поглощающие ямы, поля орошения и фильтрации, системы подземного орошения, а также в пруды, озера и водохранилища рыбохозяйственного назначения и водоплавающей птицы. Жидкие РАО подвергают очистке и обезвреживанию с целью сконцентрировать радиоактивные вещества в малом объеме. На конечной стадии их переводят в твердые формы, безопасные для хранения.

Сбор твердых РАО (ТРО) должен производиться отдельно от обычного мусора, по определенным их типам, с учетом ряда характеристик (состава, периода полураспада радионуклидов, взрывопожаробезопасности, методов переработки). Однако ТРО, содержащие короткоживущие нуклиды с периодом полураспада, не превышающим 15 суток, удаляют с обычным мусором. Вывоз ТРО на обработку и/или захоронение также производится в контейнерах.

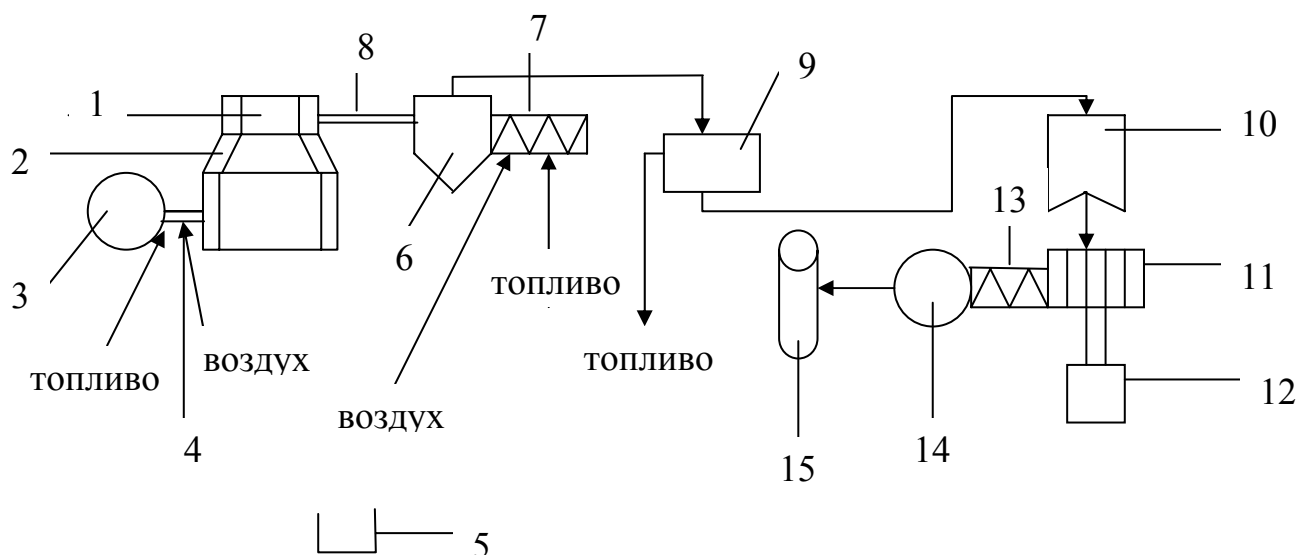
Для снижения объема и обеспечения безопасности при длительном хранении ТРО подвергают переработке - сжиганию, при котором сокращение объема отходов составляет 60-80 % в соответствии с рисунком 49.

Образующаяся при этом зола подвергается цементированию, в результате чего образуются монолитные блоки.

В результате получается готовый продукт в виде плавленного химически стойкого материала, при этом наблюдаются минимальные уносы радиоактивных газов из печи. Данный метод позволяет утилизировать и радиоактивные металлы.

Очень крупные ТРО поступают на захоронение в индивидуальных контейнерах без переработки. Пустоты, образующиеся в хранилище между упаковками с РАО, заполняются цементом.

Основополагающим принципом экологической безопасности и надежности изоляции РАО является их удаление из окружающей человека среды в слабопроницаемые подземные геологические формации.



1-узел загрузки; 2-шахтная печь; 3-плазменный генератор; 4-узел ввода углеводородов; 5-узел шлакоудаления; 6-камера дожигания; 7-газовая горелка; 8-распылительное устройство для подачи топлива; 9-испарительный теплообменник; 10-металлорукавный фильтр; 11-теплообменник; 12-сборник – конденсатор; 13-подогреватель отходящих газов; 14-вентилятор; 15-дымовая труба.

Рисунок 49 - Технологическая схема установки сжигания РАО на базе шахтной печи.

Подземная изоляция предназначена прежде всего для твердых, а также отвержденных РАО и может проводиться в могильниках различного типа:

- в специально создаваемых подземных сооружениях, камерах, скважинах, других емкостях с малой (до 100 м), средней (до 100-300 ) и большой (свыше 300-500 м) глубиной заложения;
- в буровых скважинах различной глубины;
- в специально оборудованных выработках закрытых рудников, шахт, других подземных сооружениях;
- в приповерхностных сооружениях слабозаглубленного типа.

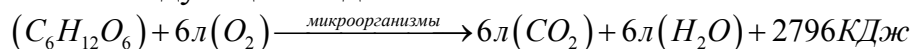
В настоящее время существуют методы локального и централизованного размещения радиоактивных отходов:

1) локальная концепция предусматривает хранение-захоронение отходов по месту их возникновения. Это экономит время, средства, снимает проблему безопасной транспортировки. Однако такой подход постепенно приводит к “расползанию” радиоактивных веществ и увеличению числа охранных зон;

2) централизованная схема предполагает организацию пунктов захоронения для всей страны или группы стран в немногих наиболее подходящих местах. Однако в этом случае обостряется вопрос о стоимости и безопасности перевозок РАО, о противодействии им значительных групп населения.

#### 4.12 Аэробное компостирование твердых бытовых отходов в промышленных условиях

Аэробные биохимические реакции, протекающие при компостировании, можно представить в следующем виде:



Как видно из реакции, целлюлоза окисляется до углекислого газа и воды при аэробных условиях. Переработанные таким образом отходы вступают в естественный круговорот веществ в природе за счет их обезвреживания и превращения в компост, ценное органоминеральное удобрение, используемое, например, для целей городского озеленения или в качестве биотоплива.

Различают компостирование на специальных заводах и полевое:

1) В настоящее время в России эксплуатируется 5 мусороперерабатывающих заводов (МПЗ), которые работают по технологии аэробного биотермического компостирования. Наиболее совершенным считают непрерывный процесс компостирования с аэробным принудительным окислением органических отходов во вращающемся биотермическом барабане. В зависимости от параметров биобарабана и числа технологических линий производительность МПЗ колеблется от 60 до 200 тыс.т/год. МПЗ также предусматривают пиролиз или сжигание некомпостируемых фракций.

Технологическая схема МПЗ:

- прием ТБО, выделение металлической фракции;
- разгрузка в приемный бункер;
- транспортировка на ленточном конвейере в биобарабан;
- биотермическая переработка в биобарабанах.

В биобарабанах происходит истирание отходов. Биотермический процесс обезвреживания отходов происходит благодаря активному росту термофильных микроорганизмов в аэробных условиях. Масса отходов сама разогревается до температуры 60 °С, при которой болезнетворные микроорганизмы, яйца гельминтов, личинки и куколки мух погибают и масса отходов обезвреживается. В биобарабане материал находится 48 часов, оттуда его передают в грохот, где отделяют фракцию, крупнее, чем 45-60 мм, затем из мелкой и очень крупной фракции выделяют черные металлы. Крупную фракцию направляют на захоронение или подвергают сжиганию и пиролизу. Мелкую фракцию направляют на сепарацию для удаления стекла и полиэтилена, затем – на дробление и далее на площадку готовой продукции.

Аэробное компостирование отходов характеризуется 3 фазами:

а) фаза нарастания температуры характеризуется усиленным размножением мезофильных микроорганизмов, оптимальная температура развития которых составляет 25-30 °С. Источником энергии для данных бактерий служат легкоразлагаемые органические соединения, которые входят в состав пищевых продуктов (сахар, белки и органические кислоты). В процессе жизнедеятельности мезофильных бактерий происходит выделение теплоты, которая способствует нагреву компостируемой массы до температуры, больше 50 °С;

б) стационарная фаза или фаза увеличения температуры характеризуется развитием термофильных бактерий, в процессе их жизнедеятельности происходит увеличение выделения тепла, что ускоряет процесс переработки;

в) фаза падения температуры свидетельствует об исчерпании легкоразлагаемых органических соединений. На этой стадии термофильные микроорганизмы переходят в состояние спор, часть из них отмирает. Одновременно наблюдается размножение мезофильной флоры, которая разлагает клетчатку.

Всего за цикл аэробного компостирования содержание органической фракции снижается на 16-26 % по сухой массе.

Если на переработку поступают твердые бытовые отходы с температурой, меньше 5 °С, то их обезвреживание в биобарабанах осуществляется 2 суток. Если температура, больше 5 °С, их обезвреживание осуществляют в течение 5 суток. Необходимым условием при этом является то, что компостируемая масса должна находиться в биобарабане не менее 12 часов при температуре 50 °С и более.

С целью создания аэробных условий необходимо в биобарабаны подавать воздух из расчета 0,2-0,6 м<sup>3</sup> на 1 кг ТБО. В зимний период с целью снижения потерь тепла в биобарабаны подают минимальное количество воздуха 0,2-0,3 м<sup>3</sup> на 1 кг ТБО.

В процессе переработки увеличивается плотность ТБО за счет истирания бумаги, картона и пищевых отходов.

2 В городах с населением 50 тыс. жителей и более при наличии вблизи города свободных территорий применяют полевое компостирование ТБО в открытых штабелях. При этом увеличиваются продолжительность переработки отходов в компост с 2-4 суток до нескольких месяцев, а также соответственно отводимая площадь для размещения сооружений полевого компостирования.

При правильно организованном полевом компостировании в результате переработки отходов получают компост, обеспечивая защиту от загрязнений почвы, атмосферы, грунтовых и поверхностных вод. В мировой практике применяют две принципиальные схемы полевого компостирования: с предварительным дроблением и без него. В первом случае ТБО измельчают специальными дробилками; во втором - измельчение (менее эффективное) происходит за счет естественного разрушения при многократном перелопачивании компостируемого материала.

Во втором случае, при полевом компостировании ТБО, отходы разгружают в приемный бункер или на выровненную площадку. Бульдозером формируют штабеля на открытом воздухе, в которых происходят процессы аэробного биотермического компостирования. Штабеля представляют собой прямоугольники различной длины, высотой не более 1,5-2 м. Выделяющееся под влиянием жизнедеятельности термофильных микроорганизмов тепло приводит к «саморазогреву» компостируемого материала в штабеле. При этом наружные слои компостируемого материала разогреваются меньше, чем внутренние, и служат теплоизоляцией для внутренних саморазогревающихся

слоев отходов. Поэтому для надежного обезвреживания всей массы материала в штабеле его «перелопачивают», в результате чего наружные слои оказываются внутри штабеля, а внутренние - снаружи. «Перелопачивание» способствует лучшей аэрации всей массы компостируемого материала, при этом достигается равномерное аэробное разложение. Интенсивность перемешивания зависит от влажности отходов: чем выше влажность, тем интенсивнее перемешивание. Чтобы компост не был влажным, осуществляют отвод избытка воды. В некоторых случаях используют принудительную аэрацию, т.е. подачу воздуха через слой отходов снизу штабеля. Для этого отходы размещают на перфорированных решетках.

Продолжительность обезвреживания ТБО на площадках компостирования колеблется от 1 до 6 месяцев в зависимости от используемого оборудования, принятой технологии и сезона закладки штабелей. Площадь земельного участка для приготовления и хранения компоста из твердых бытовых отходов для района с населением 100 тыс. человек составляет в среднем 3,2-4,1га.

Полученный компост может использоваться в качестве биотоплива после 2-3-х месячной выдержки в штабелях или как органическое удобрение, так как компост содержит до 1 % азота, 0,6 % фосфора, 0,3 % калия, 2,5 % кальция и 60 % органического вещества. Болезнетворные организмы в компосте отсутствуют.

#### **4.13 Охрана окружающей среды при эксплуатации мусоросжигательных заводов**

Функционирование МСЗ приводит к загрязнению окружающей среды. Это в основном связано с дымовыми газами и твердыми продуктами термической переработки. В состав дымовых газов МСЗ входят твердые частицы – сажа, летучая зола, сернистый и серный ангидриды, оксиды углерода, азота, соединения железа и хлора и т.д.

Если в ТБО содержится пластмасса, то в состав дымовых газов входят фторо- и хлороводороды. Хлористый водород и небольшое количество хлора также образуются в мусоросжигательных установках в процессе хлорирования углеводородов, фтористый водород - из органических фторидов.

Кроме этого дымовые газы МСЗ отличаются от дымовых газов энергетических установок, которые работают на природном топливе, повышенным содержанием дымовых паров (10-20 %), это связано с высокой влажностью ТБО.

Таким образом, при сжигании 1 т ТБО выделяется значительное количество (4,5-6,0 тыс. м<sup>3</sup>) газов (таблица 8). Образуется также 700-1100 м<sup>3</sup> пара, 200-400 кг шлака и 20-50 кг летучей золы.

Таблица 8 - Концентрации вредных веществ в дымовых газах после очистки на электрофилтрах, мг/м<sup>3</sup>.

Вредные вещества	Содержание в дымовых газах после очистки (электрофилтр)
Фтороводород	0,07-3
Хлороводород	10-210
Диоксид серы	30-180
Оксиды азота	10-160
Монооксид углерода	140-250
Летучая зола	120-220
Хлорорганические соединения	100-120
Спирты	25-49
Смолистые соединения	5
Формальдегид	0,0007-0,001
Сложные эфиры	1,9-6,4
Карбоновые кислоты	11,3-24,8
Ацетон	0,87-1,85

Конечными продуктами сгорания на МСЗ в большинстве случаев являются диоксид углерода и водяные пары. Другие продукты образуются в меньших количествах, поэтому дымовые газы МСЗ не являются крупными источниками загрязнения атмосферного воздуха оксидами серы. Это связано с ее малым содержанием в ТБО (0,05-0,3 % от общей массы). В природном же топливе ее содержание составляет 2-4 %. При сжигании ТБО часть серы может переходить в сульфаты, которые затем остаются в шлаке.

Содержание оксидов азота в дымовых газах определяется температурой сгорания в топках. В среднем температура колеблется в пределах 850-1000 °С. Наиболее интенсивное образование оксидов азота наблюдается при температуре 1100 °С.

Альдегиды и кетоны образуются при неполном окислении пищевых отходов, жиров и масел. При сжигании ТБО в атмосферу возможно поступление канцерогенных веществ: бензапирена, пирена и фенантрена. С учетом улавливания концентрация этих веществ, как правило, не превышает ПДК. В дымовых газах также могут присутствовать аммиак и озон, но их количество незначительно.

В процессе горения отходов образуются диоксины, дифенилы и дифураны, присутствие которых в отходящих газах значительно осложняет их очистку из-за малой концентрации этих высокотоксичных соединений. Наибольшую опасность представляют диоксины, в нормальных условиях – это твердые вещества, которые имеют температуру плавления 303-305 °С. Данные вещества инертны к кислотам и щелочам и являются стабильными до определенной температуры. При температуре 600 °С, данное вещество начинает разлагаться, а если его продержать 3-4 секунды при температуре 1000

°С, оно полностью разлагается. Диоксины и дифураны образуются при сжигании ТБО, содержащих древесину, полимерные материалы, соединения NaCl и HCl. Дымовые газы, охлажденные до температуры 450 °С, содержат диоксины, которые фиксируются золой и уносятся в окружающую среду. При сжигании 15 тонн отходов образуется 75 мг диоксинов. Содержание диоксинов в золе может составлять около 62 мг. Шлаки, образующиеся при сжигании ТБО, из-за избытка воздуха и быстрого охлаждения диоксины не содержат.

Сточные воды МСЗ сильно загрязняются органическими веществами (фенолы, хлорированные углеводороды) от установок для пиролиза. В твердых продуктах пиролиза наблюдаются в высоких концентрациях поликонденсированные углеводороды.

#### 4.14 Очистка дымовых газов на МСЗ

Дымовые газы подвергают термохимическому обезвреживанию по принципу реагентной очистки в 3-х ступенчатом реакторе. На 1-й ступени этого реактора происходит дожигание содержащихся в дымовых газах оксида углерода и остаточного углерода. С этой целью здесь поддерживают температуру на уровне 1200 °С, подавая в камеру дожигания воздушное дутье и (в случае переработки низкокалорийных отходов) природный газ. Здесь же реализуют обезвреживание (до остаточной концентрации 0,1 мг/м<sup>3</sup>) как содержащихся в поступающих на переработку ТБО, так и синтезируемых в блоке технологических агрегатов, диоксинов. Наибольшая эффективность обезвреживания достигается при сочетании температуры 1200 °С, содержании кислорода -3%, и времени пребывания дымовых газов в реакторе не менее 2 с.

Содержащиеся в дымовых газах кислые компоненты (хлоро-, фтороводород, оксиды фосфора и серы) нейтрализуют химической фиксацией при температуре 1000-1200 °С на 2-й ступени реактора путем впрыска в реакционный объем ее камеры 10%-го водного раствора Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, предусматривая 20%-ный избыток активного компонента относительно его стехиометрического количества. Остаточные концентрации при этом составляют (мг/м<sup>3</sup>) для SO<sub>2</sub><50, HCl<10, HF<1. Применение водного раствора Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (или NaOH, Ca(OH)<sub>2</sub>) для абсорбции этих соединений позволяет повысить эффективность очистки и одновременно нейтрализовать образующиеся стоки. Этот способ позволяет рекуперировать данные соединения с получением хлоридов и фторидов некоторых металлов.

На 3-й ступени происходит обработка горячих (850-1000 °С) дымовых газов, в результате чего происходит восстановление содержащихся в них оксидов азота карбамидом CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, который вводится в рабочий объем камеры этой ступени в виде 1-1,5%-го водного раствора.

Охлаждение дымовых газов, прошедших обезвреживание в термохимическом реакторе, осуществляется воздухоподогревателем, который используют для нагрева воздуха до температуры 300-400 °С. Данный воздух затем направляется в блок термической переработки ТБО.

Заключительная стадия очистки дымовых газов включает обеспыливание, то есть удаление золы и кристаллических солей. Данный процесс реализуется при температуре 160-250 °С в рукавных фильтрах из стеклоткани. Эффективность улавливания составляет 99 %. Уловленную пыль золы, накапливающуюся в пылевых бункерах рукавных фильтров, периодически удаляют из них и отправляют на обезвреживание. Очищенные горячие дымовые газы выбрасываются через трубу в атмосферу.

Основной величиной, характеризующей работу золоулавливающих аппаратов, является коэффициент очистки, %:

$$\eta = \frac{M_{ул}}{M_{ex}} \cdot 100 = \frac{M_{ex} - M_{вых}}{M_{ex}} \cdot 100$$

где  $M_{ex}$ ,  $M_{ул}$ ,  $M_{вых}$  - масса частиц, содержащихся в газах до их поступления в аппарат, уловленных в аппарате и содержащихся в газах после аппарата.

#### 4.15 Утилизация золошлаковых отходов на МСЗ

Зола содержит оксиды различных металлов (таблица 9), поэтому уловленную золу необходимо подвергать дополнительной переработке.

Таблица 9 – Химический состав летучей золы.

Компонент	Содержание в % по массе
SiO <sub>2</sub>	30-40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15-20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7-30
CaO	8-16
Mg	1-3
SO <sub>3</sub>	3-7
K <sub>2</sub> O	2-4
Na <sub>2</sub> O	0,5-1,3

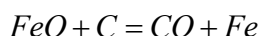
Золошлаковые отходы в мелкодисперсном состоянии относятся к отходам 3-го класса опасности, то есть к умеренно опасным. Исходя из минерального состава, данный вид отходов обладает вяжущими свойствами и может быть использован как цемент низкого качества или в качестве добавки в цемент.

Золошлаковые отходы используются также при производстве технического стекла. В этом случае шлак и золу без дополнительной обработки в количестве 32 % добавляют к шихте технических стекол. Стекла со шлаком имеют черный цвет, а с золой – зеленый.

В основном золошлаковые отходы утилизируются в стройиндустрии для получения облицовочной плитки или асфальтобетона. С этой целью



минеральная часть отходов с помощью транспортной ленты подается в шлаковую ванну, нагретую до температуры 1400-1600 °С, где ее плавят с образованием из полученного расплава 2-х частей. Расплав верхней части представляет собой шлак, а нижней – накапливающиеся металлы. Нагрев ванны осуществляется с помощью графитовых электродов через специальное отверстие, которое называется течкой. В расплав вводят флюсы для получения нужного состава получаемого продукта и известняк для вспенивания верхнего слоя. Через течку возможна подача минеральных промотходов, чаще всего мартеновского шлака, который обладает высоким содержанием оксидов кальция и магния, и используется для корректировки свойств шлака. Кроме того мартеновский шлак содержит до 16 % оксида железа, который необходим для окисления избыточного углерода и повышения выхода металла.



При производстве облицовочной плитки получающийся расплав разливают в формы с целью получения готовых изделий. Выделяющиеся дымовые газы отводятся в систему пылегазоочистки.

#### 4.16 Сжигание ТБО с целью получения тепловой и других видов энергии

Теплота сгорания ТБО составляет в среднем 7,5-8,4 тыс.кДж/кг или 1800-2000 ккал/кг. Это сопоставимо с низкосортным топливом (торф- 8,6 тыс.кДж/кг, сланец- 9,63 тыс.кДж/кг). ТБО сжигают с целью получения следующих видов энергии (таблица 10).

Таблица 10 – Классификация потребителей энергии МСЗ в зависимости от ее вида.

Тепло	Холод	Электроэнергия
1.отопление, вентиляция и горячее водоснабжение; 2.сушка осадков сточных вод и шламов; 3.поставка тепла на предприятие.	1.кондиционирование жилых помещений и других зданий; 2.холодильные установки для промышленных предприятий; 3.установки для искусственного получения льда.	1.отпуск пара на электростанции; 2.производство энергии для собственных нужд; 3.комбинированное производство (тепловая и электрическая энергия).

Все термические методы переработки и утилизации отходов помимо их обезвреживания направлены на получение энергии, а также твердого, жидкого или газообразного топлива при их пиролизе. Например, метод сжигания предварительно не подготовленных отходов позволяет получать тепловую или электрическую энергию, а при сжигании специально подготовленных отходов получаемое гранулированное топливо можно использовать в качестве основного или дополнительного топлива (при использовании в качестве

дополнительного топлива в камеру сгорания можно подавать вместе с основным (углем, торфом или др.)). Пиролиз отходов позволяет получать такие полезные продукты, как горючий газ, масло, смолы и твердый остаток (пирокарбон). Кроме того, горючие газы - продукты пиролиза и газификации отходов также используют для получения энергии.

#### **4.17 Комплексная переработка твердых бытовых и промышленных отходов**

Чаще всего используется метод барботируемого в расплаве шлака с применением печей Ванюкова. Сущность процесса заключается в высокотемпературном разложении, то есть плавки компонентов рабочей массы в слое барботируемого шлакового расплава при температуре 1350-1400 °С. Этот метод относится к методам переработки отходов выше температуры плавления шлака.

Отходы при данном методе выдерживают в печи в течении 2-3 секунд, это обеспечивает полное разложение всех сложных органических соединений, в частности диоксинов и дифуранов до простейших компонентов (углекислый газ, вода и азот). Барботаж осуществляется за счет подачи через стационарные дутьевые устройства окислительного дутья, то есть кислорода. ТБО и ТПО рассматриваются как топливо с теплотворной способностью 1500-1800 ккал/кг. При влажности отходов до 52 % плавка осуществляется автогенно, без добавления топлива. Обогащение кислородом составляет 50-70 %.

Перерабатываемый материал поступает в приемный склад, проходит дозиметрический контроль в расходном бункере, после чего поступает на плавку в печь Ванюкова в соответствии с рисунком 50.

В результате плавки образуются газы, содержащие продукты сгорания и разложения ТБО, ТПО и флюсы, в состав которых входят силикаты и оксиды металлов. Также возможно образование донной фазы, которая содержит цветные и черные металлы. Донная фаза отливается в слитки и направляется на переработку. Шлак после гранулирования поступает на предприятия стройиндустрии. Отходящие газы охлаждаются в газоохладителях с целью получения пара и далее очищаются от пыли, возгонов и газообразных примесей. Уловленная пыль в зависимости от состава направляется на переработку или вновь возвращается в технологический процесс.

Обязательной в комплексной переработке отходов является сортировка, изменяющая их качественный и количественный состав. Она же улучшает и ускоряет сжигание и газоочистку. Это обусловлено тем, что сортировка почти вдвое может сократить материальные потоки, поступающие на сжигание. Но, в то же время капитальные затраты на нее превышают 15 % от требуемых на термообработку.

В зарубежной практике сортировка ТБО чаще всего начинается с операции грохочения в барабанных грохотах с диаметром отверстий 100 мм. По данным отечественной практики, такая операция неэффективна вследствие забивания отверстий барабана текстильными и влажными компонентами.

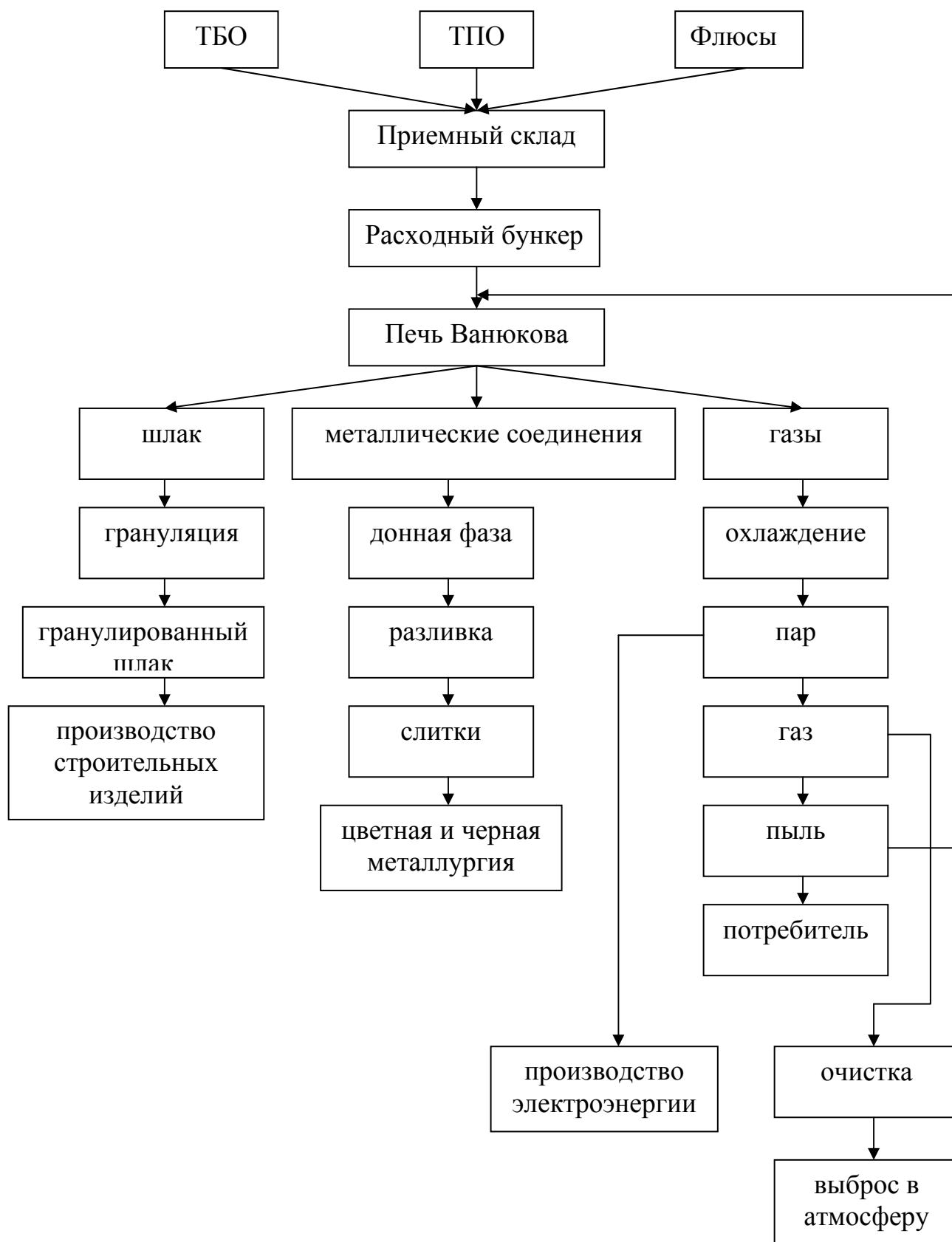


Рисунок 50 - Схема комплексной переработки отходов.

Отечественную технологию отличают две операции, предшествующих грохочению (магнитная сепарация и удаление из потока текстильных и крупных пленочных компонентов). Второе отличие отечественной технологии - регулирование основного потока отходов (65-70 % от исходного) с помощью воздушной сепарации. Это позволяет оптимизировать последующие операции сортировки, улучшить санитарно-гигиенические условия работы (дезодорация, обеспыливание), подсушить компоненты легкой фракции.

#### **4.18 Контрольные вопросы**

1. Характеристика отходов.
2. Источники возникновения твердых отходов в материальном производстве.
3. Общие и специальные методы переработки отходов.
4. Переработка твердых отходов, связанная с уменьшением размеров кусков и частиц.
5. Классификация и сортировка твердых отходов.
6. Методы гранулирования твердых отходов.
7. Методы переработки твердых отходов, связанные с увеличением размеров кусков и частиц (брикетирование и высокотемпературная агломерация).
8. Обогащение в тяжелых суспензиях и жидкостях.
9. Обогащение в потоках на наклонных поверхностях.
10. Магнитные и электрические методы переработки твердых отходов.
11. Выщелачивание (экстрагирование) твердых отходов.
12. Методы переработки твердых отходов, основанные на растворении и кристаллизации.
13. Характеристика полигонов как природоохранных сооружений.
14. Характеристика класса опасности почв в зависимости от степени загрязнения.
15. Технологическая схема работы полигона.
16. Технология сбора и эвакуации ТБО.
17. Технология складирования ТБО на полигонах (санитарных свалках).
18. Аэробное компостирование ТБО.
19. Классификация методов термической переработки ТБО.
20. Сжигание ТБО целью получения тепловой и других видов энергии.
21. Охрана окружающей среды при эксплуатации МСЗ.
22. Утилизация золошлаковых отходов МСЗ.
23. Комплексная переработка твердых бытовых и промышленных отходов (ТБПО).
24. Обезвреживание и переработка токсичных отходов.
25. Обезвреживание, переработка и захоронение радиоактивных отходов.

## **5 Формирование и развитие безотходных ТПК и эколого-промышленных парков**

### **5.1 Территориально-промышленные комплексы**

В рамках территориально-производственных комплексов складываются наиболее благоприятные условия для решения сложнейших экологических проблем путём кооперирования различных производств таким образом, чтобы отходы одних предприятий использовались другими. Территориально-производственным комплексом называется такое экономическое (взаимообусловленное) сочетание предприятий в одной промышленной точке или в целом районе, при котором достигается определённый экономический эффект за счёт удачного (планового) подбора предприятий в соответствии с природными и экономическими условиями района, с его транспортным и экономико-географическим положением.

Экономическое развитие ТПК предусматривает создание эффективной структуры производства основных видов продукции, инфраструктуры для обеспечения выпуска этой продукции, охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов. При размещении производительных сил необходимо:

- максимально сохранять природные условия на заповедных территориях;

- внедрять малоотходные и безотходные или чистые процессы и производства, потребляющие минимальное количество сырья и материалов;

- экономно использовать имеющиеся земли и, в первую очередь, плодородные;

- перераспределять природные ресурсы и промышленное сырьё с целью создания условий для сохранения благоприятной природной среды;

- ограничивать или даже прекращать отдельные производства в некоторых районах (курортных или туристских зонах, заповедниках, зонах интенсивной жилой застройки и др.), а в ряде случаев, наоборот, создавать новые (например, предприятия по производству стройматериалов, на которых можно использовать большинство отходов).

Большое значение в деле охраны окружающей среды имеют разработка и строительство в населенных пунктах и на предприятиях очистных сооружений, переработка промышленных и коммунальных отходов, озеленение, создание санитарно-защитных зон и проведение некоторых других санитарно-гигиенических мероприятий. Особое внимание следует уделять предприятиям, производящим строительные материалы, поскольку они могут использовать большое количество отходов, что дает возможность не только улучшить экономические показатели предприятий и региона в целом, но и весьма ощутимо уменьшить вредное воздействие промышленности на окружающую среду. Переработка многотоннажных отходов химических, металлургических, энергетических и других производств в ценные

строительные материалы и изделия позволяет высвободить дефицитные земельные угодья, отводимые под отвалы, весьма существенно уменьшить загрязнение окружающей среды и повысить степень обеспеченности народного хозяйства страны строительными материалами при минимальных издержках производства. Использование отходов способствует повышению рентабельности как предприятий, их производящих, так и предприятий, перерабатывающих отходы, снижению затрат на геологоразведочные работы и экономии природного сырья в целом, т. е. повышению эффективности капитальных вложений в народное хозяйство.

Особое значение для экономики страны имеет интенсификация развития таких территориально-производственных комплексов России, как Курская магнитная аномалия, Оренбургский и Ангаро-Енисейский ТПК, Саянский, и Канско-Ачинский топливно-энергетические комплексы и др.

Одним из примеров решения сложнейших экологических проблем путём комбинирования предприятий является Красноперекопский промышленный узел в Крыму. Для сохранения уникальных природных условий данного региона жизненно важное значение имеет сбалансированное развитие взаимоотношений между сельским и рыбным хозяйством, промышленностью и оздоровительными комплексами. При увеличении населения в результате как постоянного, так и сезонного притока возрастает потребление природных ресурсов, потенциальные резервы которых имеют определенные пределы. К таким ресурсам для Крыма относятся рекреационные зоны, сельскохозяйственные, водные ресурсы (в основном в виде подземных вод), запасы минеральных солей в заливе Сиваш, рыбные ресурсы.

После 1970 г. на севере Крыма в пределах Красноперекопского района начинает развиваться химическая промышленность. Эта отрасль представлена заводами двуокиси титана, содовым, бромным и анилинокрасочным. Характер деятельности указанных выше предприятий позволял считать достаточно вероятным увеличение промышленных выбросов в виде соединений серы, фтора, брома, пыли и других веществ.

Сточные воды предприятий Красноперекопского промышленного узла сбрасываются в Каркинитский залив Чёрного моря и накопитель-испаритель - ограниченную дамбой часть западного Сиваша площадью 40 км<sup>2</sup>. Наибольшее количество стоков в накопитель-испаритель поступает с завода двуокиси титана. Кроме того, это предприятие складировало значительные количества твердых отходов - пиритного огарка и гипса. Содовый завод сбрасывает дистиллерную жидкость в близлежащие соляные озёра, емкость которых позволяет проводить сброс в течение 50 лет, однако при расширении завода этот срок соответственно уменьшится. Перекопский бромный завод, являясь единственным предприятием, непосредственно потребляющим природные ресурсы залива, сбрасывает в море отработанную рапу из солей магния и кальция. Анилинокрасочный завод сбрасывает свои стоки в накопитель-испаритель. Сброс сточных вод в количествах, превышающих проектные величины, может привести к переполнению испарителя и переливу загрязнённых вод в Сиваш.

Если рассматривать предприятия как отдельные функциональные ячейки общей системы промышленного узла, то данная промышленная система имеет несколько изолированных, т. е. не связанных между собой выходов в биосферу. Следовательно, экологическое воздействие в целом можно уменьшить, устраняя вредные выбросы не только с помощью очистных сооружений, но и создавая системы замкнутых материальных потоков.

Например, комплексная переработка пиритных огарков, являющихся отходом производства двуокиси титана, вполне осуществима и даёт значительный экономический эффект. Кроме того, в настоящее время для получения двуокиси титана начинают все шире применять хлорный способ, так как в этом случае образуется значительно меньше отходов, выбрасываемых в окружающую среду. Для получения хлора может быть использован метод электрохимической переработки дистиллерной жидкости - отхода содового производства. Поэтому существует реальная возможность внедрения процесса электролиза этой жидкости. В результате в производственный цикл завода можно будет возвращать гидроксид кальция в виде отработанного электролита, а выделяющийся хлор использовать для получения четыреххлористого титана, а также в бромном производстве.

Сиваш является одним из самых перспективных гидрохимических объектов, издавна эксплуатируется как крупный источник поваренной соли.

Под действием солнечных лучей и климатических условий азовская вода, поступающая через залив, превращается в рапу, насыщенную солями. При создании искусственного режима концентрация солей в рассоле может достигать 21-23 %. В результате комплексной переработки из рапы Сиваша извлекают ряд ценных соединений: оксид магния и хлористый магний, бром и его производные и др. Для выделения из рапы гидроксида магния требуется гидроксид кальция, который может быть получен электролизом отходов содового производства - дистиллерной жидкости. Образующийся при этом хлор можно использовать в бромном производстве для выделения брома из солей рапы. Остающийся после выделения гидроксида магния раствор солей кальция можно вновь направлять на электролиз для получения гидроксида кальция. В этом случае не только уменьшается количество отходов, но и появляется возможность отказаться от разработки карьеров для производства соды, что обеспечивает сохранность уникального природного ландшафта.

Таким образом, для регионов с напряженной экологической обстановкой следует в первую очередь предусматривать строительство производств и установок, при эксплуатации которых достигается существенное уменьшение количества образующихся отходов.

## **5.2 Промышленные экосистемы и эко-промышленные парки**

Для определения эффективности промышленного производства введено понятие эко-эффективности. Эко-эффективность достигается при производстве конкурентоспособных товаров и услуг, удовлетворяющих потребности людей и качество жизни и существенно уменьшающих вредное воздействие на

окружающую природную среду и потребление природных ресурсов на протяжении всего жизненного цикла. Эко-эффективность должна способствовать:

- уменьшению количества материалов и снижению степени использования энергетических затрат при производстве товаров и услуг;
- уменьшению объемов образующихся попутно (неиспользуемых) продуктов и токсичных отходов;
- максимизации устойчивого использования возобновимых природных ресурсов;
- продлению срока пользования товарами и услугами;
- увеличению интенсивности пользования товарами и услугами.

### **5.3 Промышленные экосистемы**

В таких системах оптимизировано использование сырьевых и энергетических ресурсов, сведено к минимуму образование отходов, а отходы одних процессов и производств служат сырьём для других. Промышленные экосистемы - это взаимосвязанная сеть компаний и организаций в регионе, которые используют попутно образующиеся продукты, отходы и энергию по одному из следующих направлений:

- уменьшение объемов потребляемого первичного сырья;
- снижение степени загрязнения окружающей среды;
- повышение эффективности использования энергии, а следовательно, уменьшение объемов потребления первичных энергетических ресурсов;
- уменьшение количества отходов и затрат на их захоронение;
- увеличение количества и видов продукции.

### **5.4 Эко-промышленные парки**

Особая форма промышленных систем реализована в эко-промышленных парках (ЭПП). В них появляются условия для более эффективной (экономически и экологически) организации жизнедеятельности региона. Подход тот же, что и при организации ТПК, но с более тесными и целенаправленными связями между предприятиями и на меньшей территории. Существует следующее описание ЭПП.

Эко-промышленный парк - объединение производителей товаров и услуг, желающих улучшить экономическое и экологическое состояние путём совместного управления природными ресурсами (энергией, водой и материалами) и окружающей средой. Работая вместе, производители надеются получить коллективный эффект больше, чем они имели бы по отдельности.

Цель ЭПП- улучшить экономическое состояние участвующих производителей и уменьшить загрязнение окружающей среды. Данный подход включают планирование (или перепланирование) инфраструктуры парка, предотвращение загрязнения окружающей среды, повышение эффективности использования сырьевых и энергетических ресурсов и партнёрство между



производителями товаров и услуг. Через взаимную кооперацию эти предприятия становятся промышленной экосистемой.

Разработаны принципы и стратегия объединения предприятий в промышленную экосистему. В проекте выделено несколько ключевых позиций:

- организация материальных и энергетических потоков между предприятиями, информационной системы об отходах, привлечение компаний, традиционно занимающихся сбором, обезвреживанием и утилизацией отходов;

- увязка в единый природный комплекс зданий и парка, обогрев жилищ солнцем и использование болот для обезвреживания сточных вод;

- создание доступной для всех предпринимателей информационной системы о необходимых материалах, используемой энергии и образующихся в регионе отходах;

- организация обратной связи внутри предприятий и между ними, а также с управлением парка.

## **5.5 Перспективы и основные этапы решения проблемы рационального природопользования**

Современная практика выработала следующие принципы рационального природопользования:

- исключение вредных выбросов и отходов в окружающую среду;

- применение во всех отраслях народного хозяйства безотходных технологий и замкнутых циклов водопотребления;

- комплексное использование минеральных ресурсов;

- полная оценка геологических условий в промышленном строительстве;

- улучшение условий жизни людей во всех регионах страны за счет сохранения и улучшения окружающей среды, к главным компонентам которой относятся чистый воздух, чистая вода, солнечный свет и умеренная температура, а также красота и величие природы, влияющие на психологический настрой человека.

## **5.6 Контрольные вопросы**

- 1.Формирование и развитие безотходных ТПК и эколого-промышленных парков.

2. Перспективы и основные этапы решения проблемы рационального природопользования.

## **6 Создание экологически обоснованных производств на базе комплексной переработки основных видов сырья**

### **6.1 Создание малоотходных, безотходных или чистых производств**

Безотходные производства (технологии) – такой способ производства продукции, при котором сырьевые и вторичные ресурсы, а также энергия используются наиболее полно и рационально, в результате чего воздействие на окружающую среду не нарушает ее нормального функционирования.

Малоотходные производства (технологии) – такой способ производства продукции, при котором вредное воздействие на окружающую среду не превышает уровня, допустимого санитарно-гигиеническими требованиями. При этом, по техническим, организационным, экономическим и другим причинам часть сырья или материалов переходит в отходы.

Чистое производство – производство, характеризующееся непрерывным и полным применением к технологическим процессам и вырабатываемым продуктам природоохранной стратегии, которая предотвращает загрязнение окружающей среды и, таким образом, снижает риск развития различных заболеваний в организме человека.

Чистое производство с точки зрения продукции – уменьшение вредного воздействия вырабатываемой продукции на окружающую среду в течение всего жизненного цикла продукта, то есть от добычи сырья до утилизации продукта после его использования.

*Принципы создания малоотходного производства:*

- цикличность – многократное использование сырья и создание замкнутых циклов;
- комплексность – комплексное использование сырья и энергии;
- экологичность – соблюдение предприятием требований по предельно-допустимым экологическим нагрузкам и ПДК вредных веществ.

*Основные направления создания малоотходных производств:*

1) *технические:*

- а) разработка новых технологий и технологических процессов, которые способствуют снижению образования отходов;
- б) применение малоэнергоёмких процессов (создание порошковой металлургии);
- в) использование высокоэффективных методов тепло- и массообмена;
- г) замена прямоточных потоков противоточными;
- д) внедрение технологий с использованием кислорода, озона и водорода;
- е) использование эффекта сверхпроводимости;
- ж) разработка высоких технологий (использование лазера и плазмы);
- з) замена химических процессов механическими;

и) использование безводных методов обогащения;  
к) замена плавки руд и отходов гидрометаллургическими методами;  
л) использование мембранных, ионообменных и экстракционных методов выделения веществ;

2) *организационные:*

а) создание замкнутых циклов, а именно замкнутых водооборотных систем;  
б) реализация многоразового использования сырья;  
в) комбинирование производств при организации комплексного использования сырья, энергоресурсов и продукции;  
г) кооперация производств с учетом утилизации;  
д) научно-практическое обоснование района строительства производства с учетом фоновых концентраций, рекультивации почвы и возможность кооперации с другими производственными регионами;  
е) создание эколого-промышленных парков и ТПК;  
ж) организация региональных центров по переработке и обезвреживанию отходов производства и быта.

*Количественные критерии малоотходного производства.*

1 *Коэффициент безотходности* характеризует полноту использования в производстве материальных и энергетических ресурсов, а также интенсивность воздействия этого производства на состояние окружающей среды:

$$K_6 = A \cdot K_m \cdot K_3 \cdot K_a$$

где  $A$  – коэффициент пропорциональности (определяется для каждого производства);

$K_m$  – коэффициент полноты использования материальных ресурсов;

$K_3$  – коэффициент полноты использования энергетических ресурсов;

$K_a$  – коэффициент соответствия экологическим требованиям.

Для малоотходного производства значение коэффициента безопасности составляет 75-80 %, безотходного производства – 90-98 %.

2 Для определения степени совершенства технологического процесса используется *коэффициент экологического действия*:

$$K = B_m / B_\phi$$

где  $B_m$  – теоретическое воздействие, характерное для производства;

$B_\phi$  – фактическое воздействие.

Если  $B_\phi \geq B_m$ , то  $K$  стремится к нулю, то есть экологические требования абсолютно не выполняются.

**6.2 Учет нормирования нагрузки на окружающую среду при организации безотходного и малоотходного производств**

Экологический эффект при безотходном производстве образуется при непосредственном возврате сырья в производство (в данном случае имеется в виду отходы) за счет предотвращения социально-экономического ущерба от загрязнения окружающей среды и снижения затрат на добычу сырья.

*Экономический эффект* при создании безотходного производства определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{н.в} + \mathcal{E}_y + \mathcal{E}_p$$

где  $\mathcal{E}_{н.в}$  – эффект от использования отходов в производстве;

$\mathcal{E}_y$  – эффект от снижения ущерба от загрязнения окружающей среды;

$\mathcal{E}_p$  – эффект за счет снижения затрат на добычу сырья.

Эффект от использования отходов определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{н.в} = z \cdot n \cdot t \cdot Z_n$$

где  $z$  – затраты на данный вид продукции;

$n$  – количество отходов, используемых в производстве;

$t$  – коэффициент, учитывающий количественное соотношение используемого сырья и отходов;

$Z_n$  – затраты на вовлечение отходов в производство.

Эффект от снижения ущерба от загрязнения окружающей среды определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_y = Y_y - Y_\phi$$

где  $Y_y$  – возможный ущерб при отсутствии природоохранных мероприятий, который выражается в стоимостной форме;

$Y_\phi$  – фактический ущерб, выраженный в стоимостной форме.

Эффект за счет снижения затрат на добычу сырья (региональный эффект) представлен в виде приведенных затрат на единицу продукции за счет использования отходов в производстве.

*Социально-экономический эффект* при безотходном производстве определяется с помощью комплексного критерия:

$$\eta = \frac{\Sigma \mathcal{E}_i - Y}{Z_n}$$

где  $\Sigma \mathcal{E}_i$  – сумма эффектов, достигаемая при внедрении безотходного производства;

$Y$  – ущерб от загрязнения окружающей среды отходами производства и потребления;

$Z_n$  – полные затраты на создание безотходного производства.

$$\Sigma \mathcal{E}_i = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_4 + \mathcal{E}_5$$

где  $\mathcal{E}_1$  – эффект от производства конечной продукции, полученной при создании безотходной технологии или более полного использования исходного сырья;

$\mathcal{E}_2$  – эффект от потребления конечной продукции;

$\mathcal{E}_3$  – экономия затрат на разведку, добычу и транспортировку отдельного ресурса;

$\mathcal{E}_4$  – эффект от комплексного развития региона за счет совершенствования размещения производственных сил;

$\mathcal{E}_5$  – внешнеторговый эффект (сокращение импорта за счет использования отходов).

### **6.3 Контрольные вопросы**

1. Организация замкнутых циклов в производстве.

2. Учет нормирования нагрузки на окружающую среду при организации мало- и безотходного производства.

## **Заключение**

Уровень использования природных ресурсов и степень деградации окружающей среды являются главной проблемой современного общества. В настоящее время как в нашей стране, так и в большинстве стран мира считается общепризнанным, что проблема рационального использования природных ресурсов и предотвращения загрязнения окружающей среды, а следовательно и проблема устойчивого развития современной цивилизации, обеспечивающей удовлетворение потребностей общества, но не ставящей под угрозу будущие поколения, может быть решена путем нового подхода к организации и функционированию промышленных производств и экономической системы в целом, в основе которых лежит промышленная экология. Промышленная экология служит средством для достижения устойчивого, самоподдерживающегося функционирования эколого-экономических систем (и общества в целом) и является системно - ориентированным подходом к объединению экономической деятельности людей и управлению материальным производством с фундаментальными биологическими, химическими и физическими глобальными системами.

В природных экосистемах производство и разложение сбалансированы, в них нет отходов, отходы одних организмов служат средой обитания для других и таким образом осуществляется практически замкнутый кругооборот веществ в природе. В природных экосистемах около 90 % энергии расходуется на разложение и возвращение веществ в биогеохимический кругооборот. В социально-экономических системах около 90 % материальных ресурсов переходит в отходы, а основное количество энергии используется в производстве и потреблении. Поэтому главной задачей промышленной экологии является нахождение путей для рационального использования природных ресурсов,

предотвращения их исчерпания, деградации и загрязнения окружающей среды, а в конечном итоге - совмещение техногенного и биогеохимического кругооборотов веществ.

Особая сложность технических проблем заключается в том, что здесь длительное время будут функционировать, а в ряде случаев и увеличивать производственные мощности предприятия, построенные без учёта экологических требований или с недостаточным их учётом. Прекратить деятельность этих предприятий не представляется возможным, а их перевод на работу по замкнутому циклу сопряжён со значительными трудностями и необходимостью вложения больших средств на реконструкцию. Для выхода из такого положения необходимо отходы, образующиеся на предприятиях, доводить до уровня товарной продукции или использовать в качестве сырья в своем производстве либо в других отраслях.

В связи с этим, генеральным направлением развития промышленного производства является коренная реконструкция старых предприятий и строительство новых, работающих по принципу безотходного или чистого производства, создание управляемого техногенного кругооборота веществ в рамках регионов или территориально-производственных комплексов, а в перспективе - переход всего народного хозяйства на безотходный или чистый способ производства с целью организации (или точнее поддержания) устойчивого функционирования биосферы.

В целом проанализировав имеющиеся данные о воздействии производства на состояние окружающей среды, мы можем сделать вывод, что промышленная экология – это самостоятельная наука, изучающая влияние промышленной деятельности на биосферу и ее эволюцию в техносфере, а также определяющая пути достаточно безболезненного для человеческой цивилизации перехода техносферы в ноосферу. Для достижения этой цели в первую очередь необходимо:

- 1) совершенствование технологического процесса, включающее комплексное использование сырьевых и энергетических ресурсов, снижение количества стадий при проведении технологических процессов, внедрение непрерывных процессов производства, автоматизацию и компьютеризацию производственных процессов и максимально возможную замену первичных материальных и энергетических ресурсов на вторичные;

- 2) усовершенствование аппаратуры, заключающееся в разработке комбинированных аппаратов, уменьшении габаритов оборудования, изготовлении аппаратов повышенной герметичности, внедрении эффективных очистных сооружений и использовании новых современных материалов;

- 3) усовершенствование сырья, включающее научно-практическое обоснование качества ресурсов, предварительную подготовку сырья, замену высокотоксичных материалов на менее ядовитые, и замену привозного сырья на местное;

- 4) усовершенствование готовой продукции, заключающееся в улучшении экологической безопасности, продлении срока службы продукции, удобстве ее использования, возможности регенерации или переработки;

5) усовершенствование организации производства, представляющее собой организацию экономии материальных и энергетических ресурсов, внедрение новых процессов и оборудования, обеспечение контроля качества сырья и продукции и составление экологической документации;

6) очистка вредных выбросов и сбросов, обезвреживание и утилизация отходов;

7) применение безотходных производств, осуществляющих полную комплексную переработку используемого сырья без отходов в замкнутой технологической цепи;

8) применение малоотходных технологий с выбросами вредных веществ, не превышающих ПДК.

Таким образом, знания, накопленные в рамках промышленной экологии, показывают, что возврат к дотехногенной биосфере невозможен. Человечество, если оно надеется сохраниться на планете и жить в достаточно комфортных условиях, неизбежно должно идти вперед от изуродованной его руками техносферы к преобразованной его мыслью и осознанными желаниями ноосфере. В этой связи неимоверно возрастает роль промышленной экологии как науки, способной разработать стратегию и тактику этого перехода.

#### **Список использованных источников**

1. Калыгин В.Г. Промышленная экология / В.Г. Калыгин. - М: МНЭПУ, 2000.- 40 с.

2. Зайцев В.А. Промышленная экология / В.А. Зайцев . - М.: РХТУ, 2000.- 131 с.

3. Дежкин В.В. Промышленная экология / В.В. Дежкин . - М.: МНЭПУ, 2000 - 96 с.

4. Родионов А.И. Технологические процессы экологической безопасности / А.И. Родионов, В.Н. Клушин, В.Г. Систер - Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2000. - 800 с.

5. Промышленная экология и безопасность труда / под ред. Белова С.В. - М.: МВТУ, 1988.-136 с.

6. Зайцев В.А. Безотходное производство. / В.А. Зайцев. - М.: МХТИ, 1990. - 108 с.

7. Основы промышленной экологии: Учеб. пособие / А.А. Челноков, Л.Ф. Ющенко. - Мн: Выш. Шк., 2001. – 343 с.

8. Гридэл Т.Е., Алленби Б.Р. Промышленная экология: учеб. пособие для вузов / пер. с англ. под ред. проф. Э.В. Гирусова / Т.Е. Гридэл , Б.Р. Алленби. - М.: ЮНИТИ – ДАНА, 2004.- 527 с.

9. Хван Т.А. Промышленная экология / Т.А. Хван. – Ростов н/Д: Феникс, 2003. – 320 с.( серия “Учебники, учебные пособия”)