

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМ-  
МУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА» (СПбГУТ)

Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности

**КУРС ЛЕКЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**  
**«ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ГИДРОСФЕРЫ»**  
Направление подготовки 05.04.06 Экология и природопользование  
Разработчик: доцент, к.т.н. Манвелова Н.Е.

Санкт-Петербург  
2018

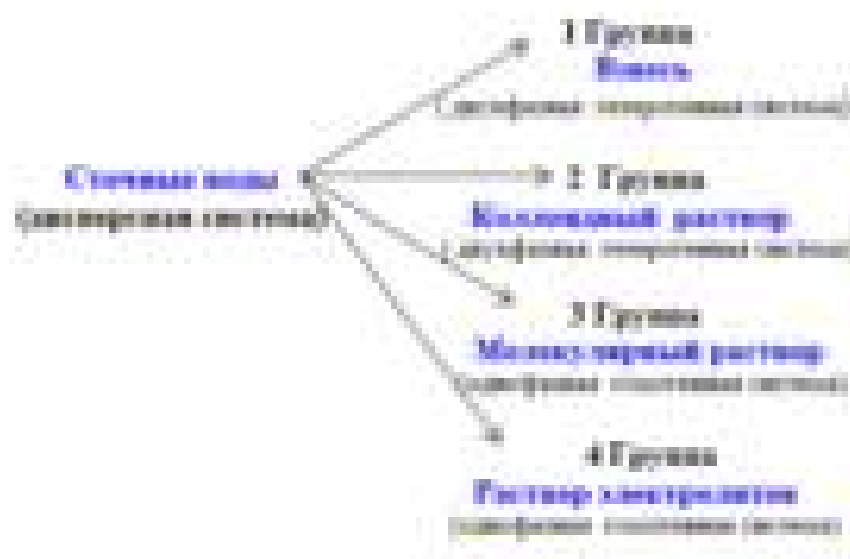
## ***ЛЕКЦИЯ 1***

### **Введение**

Вода – важнейший природный ресурс, используемый в промышленном производстве. Можно выделить четыре наиболее значимые направления использования воды в технологических процессах: вода 1 категории используется для охлаждения жидких и конденсации газообразных продуктов в теплообменных аппаратах без соприкосновения с продуктом. вода 2 категории служит в качестве среды, поглощающей различные нерастворимые (механические) и растворимые примеси (вода не нагревается, но загрязняется соответствующими примесями) вода 3 категории используется так же, как вода 2-ой категории, но с нагревом (например, очистка газов в скрубберах, гашение кокса и т.д.); вода 4 категории используется в качестве экстрагента и растворителя реагентов. При прямоточном водообеспечении промышленных предприятий вода, забираемая из природного источника, после участия в технологическом процессе возвращается в водоем в виде сточной (отработанной) воды за исключением того количества, которое безвозвратно расходуется в производстве. Сточные воды – отработанные воды, дальнейшее использование которых невозможно по техническим условиям, либо нецелесообразно по технико-экономическим показателям. При оборотном водообеспечении промышленных предприятий, часть сточных вод повторно используется в производстве после их очистки и охлаждения (при необходимости). Производственные сточные воды в течение смены могут поступать равномерно и неравномерно. Возможны залповые поступления высококонцентрированных токсичных сточных вод. Режим спуска производственных сточных вод определяется регламентом технологического процесса (цехов и предприятия в целом). В течение суток могут также изменяться отдельные показатели свойств сточных вод. Сточные воды, отводимые с территории промышленных предприятий, разделяются на три вида: производственные, бытовые, атмосферные. Производственные сточные воды - это воды, использованные в технологическом

процессе. Они включают две основные категории: загрязненные и незагрязненные (условно чистые). Загрязненные сточные воды могут содержать примеси: а) минеральные, б) органические, в) бактериальные, г) биологические. Бытовые сточные воды – это воды от санитарных узлов производственных и непромышленных корпусов и зданий, душевых установок и т.п.

Атмосферные сточные воды - дождевые и талые воды. Атмосферные осадки содержат до 100 мг/л примесей. Состав сточных вод зависит от характера использования чистой воды в промышленности, условий сбора всех видов вод на территории предприятия или более крупной промышленной зоны. Академик Л.А. Кульский предложил классификацию сточных вод, основанную на характеристике их как дисперсных систем, содержащих частицы примесей определенных размеров.



**Группа 1.** Сточные воды представляют собой один из видов грубодисперсных систем с размерами частиц  $10^{-1}$  -  $10^{-3}$  см (взвеси, суспензии, эмульсии, патогенные микроорганизмы и планктон). Наличие такого вида загрязнений обуславливает мутность воды.

**Группа 2.** Сточные воды представляют собой коллоидные растворы загрязнений в воде, а также растворы высокомолекулярных соединений. Размеры частиц загрязнений порядка  $10^{-5}$  -  $10^{-6}$  см. Наличие такого вида загрязнений обуславливает окисляемость и цветность сточной воды.

**Группа 3.** Сточные воды представляют собой молекулярные водные растворы газов и некоторых органических веществ, размеры частиц загрязнений  $\approx 10^{-7}$  см. Наличие такого вида загрязнений обуславливает запахи и привкусы воды.

**Группа 4.** Загрязнения в сточной воде образуют ионные растворы с размерами частиц порядка  $10^{-8}$  см. Наличие такого вида загрязнений обуславливает минерализацию воды.

### **Показатели качества воды**

Основными показателями качества воды различных источников являются: физические, химические, биологические и бактериологические.

Физические показатели характеризуются как общесанитарные. К ним относятся:

- 1) содержание взвешенных веществ (частиц песка, ила, планктона), которые определяются взвешиванием осадка после его выпаривания, мг/л;
- 2) цветность (окраска) оценивается в условных единицах;
- 3) вкус и запах (обуславливаются растворенными солями, газами, органическими соединениями) оцениваются в баллах (органолептически), либо по порогу разбавления.

Химические показатели условно делятся на пять групп:

- 1) Основные ионы. Наиболее распространены в природных водах анионы  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HSiO}_3^-$  и катионы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ . Они составляют 90-95% от общего содержания ионов в воде.

Содержание в воде растворимых солей кальция и магния характеризуют жесткость воды. Различают жесткость карбонатную ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ) и некарбонатную ( $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ).

- 2) Растворенные газы:  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  и др. Содержание кислорода в воде определяется поступлением его из воздуха и образованием в результате фотосинтеза. Растворимость кислорода зависит от температуры воды, и его концентрация в воде зимой меньше.  $\text{CO}_2$  находится как в растворенном виде, так и в виде углекислоты. Основными источниками  $\text{CO}_2$  являются процессы распада био-

химических веществ.  $H_2S$  бывает органического (продукт распада) и неорганического (растворение минеральных солей) происхождения.  $H_2S$  придает воде неприятный запах и вызывает коррозию металла.

3) Биогенные вещества. К этой группе относятся необходимые для жизнедеятельности водных организмов и образующиеся в процессе обмена веществ соединения азота и фосфора.

4) Микроэлементы - элементы, содержание которых в воде менее 1 мг/л. Наиболее важные из них йод и фтор.

5) Органические вещества присутствуют в виде гуминовых соединений образующихся при разложении растительных остатков и органических соединений, поступающих со стоком. Их определяют показателями: ХПК (химическое потребление кислорода) и БПК (биологическое потребление кислорода).

**ХПК** – это количество кислорода, которое идет на окисление органики химическим путем в присутствии катализатора (сульфата серебра или дихромата калия), мг/л.

**БПК** – это количество кислорода, которое идет на окисление органики естественным путем (биологическое окисление веществ), мг/л.

К химическим показателям воды относится водородный показатель – рН.

Биологическими показателями качества воды являются гидробионты и гидрофлора. Гидробионты – обитатели от дна до поверхности. Гидрофлора – растительность макро- и микрофиты. Макрофиты – высшая форма растительности. Микрофиты – водоросли. При отмирании макрофитов вода обогащается органическими веществами, ухудшающими органолептические показатели. Микрофиты – продуцируют кислород.

Бактериологические показатели – присутствие болезнетворных микроорганизмов (кишечной палочки). Содержание бактерий группы кишечной палочки в 1 литре воды определяет ее коли-индекс. наименьший объем воды (мл), приходящийся на 1 кишечную палочку называется коли-титром.

Природная вода, как правило, содержит различные примеси: грубодисперсные (песок, глина и т.д.) и коллоидные частицы, органического и минерального происхождения, растворимые и нерастворимые соединения, в том числе и соли. Для получения питьевой и технической воды, используемой в различных отраслях народного хозяйства, необходимо провести ее обработку.

Процесс обработки воды обусловлен ее целевым назначением. Так питьевая вода должна соответствовать стандартным требованиям: полная безвредность, приятные органолептические свойства, бактериальная безопасность, жесткость не более 7 ммоль/л.

К воде, применяемой для промышленных целей предъявляются менее жесткие требования. Требования к качеству воды зависят от цели ее использования. В табл. 3 приведены требования к качеству питьевых вод.

Таблица 3

Требования, предъявляемые к качеству воды

Показатели	Цели водопользования	
	Хозяйственно-питьевые нужды населения	Коммунально-бытовые нужды населения
Взвешенные вещества	При сбросе сточных вод и др. работах на водном объекте содержание взвешенных веществ в контрольном растворе не должно увеличиваться по сравнению с естественными условиями более, чем на	
	0,25 г/м <sup>3</sup>	0,75 г/м <sup>3</sup>
Плавающие примеси (вещества)	На поверхности воды не должны обнаруживаться пленки нефтепродуктов, масел, жиров и скопления др. примесей.	
Окраска	Не должна обнаруживаться в столбике	
	20 см	10 см
Запахи, привкусы	Вода не должна приобретать запахи интенсивности > 1 балла, обнаруживаемые:	
	непосредственно, при хлорировании и др. способах обработки	непосредственно
Температура	Летняя температура воды после сброса не должна превышать более, чем на 3 <sup>0</sup> С по сравнению со среднемесячной температурой воды самого жаркого месяца за последние 10 лет.	
Водородный показатель (рН)	Не должен выходить за пределы 6,5-8,5.	

Показатели	Цели водопользования	
	Хозяйственно-питьевые нужды населения	Коммунально-бытовые нужды населения
Минерализация	Не более 1000 мг/л. в том числе хлоридов 350мг/л, сульфатов 500 мг/л, железа не более 0,3 мг/л, общая жесткость 0,7 мг-экв/л	Нормируется по показателю "привкуса"
Растворенный кислород	Не должен быть менее 4 мг/л в любой период года	
	3 мг O <sub>2</sub> /л	6 мг O <sub>2</sub> /л
Химическое потребление кислорода, ХПК	Не должно превышать	
	15 мг O <sub>2</sub> /л	30 мг O <sub>2</sub> /л
Химические вещества	Не должны содержаться в концентрациях, превышающих нормативы	

## **ЛЕКЦИЯ 2**

### **Процессы самоочищения водоемов.**

Открытые водоемы почти непрерывно подвергаются разнообразным загрязнениям. Однако в крупных водоемах резкого ухудшения качества воды не наблюдается. Это объясняется тем, что реки, озера, водохранилища под влиянием многообразных физико-химических и биологических процессов обладают способностью самоочищаться от взвешенных частиц, органических веществ, микроорганизмов и других загрязнений.

Гидродинамические процессы смешения стока с водой водоема во многом определяют интенсивность самоочищения, так как понижают концентрацию загрязнений. К числу физических факторов самоочищения относятся также процессы осаждения нерастворимых примесей, поступающих в водоем со сточными водами. Физические явления осаждения тесно связаны с жизнедеятельностью гидробионтов – фильтраторов и седиментаторов. Они извлекают из воды огромные количества взвешенных веществ и выбрасывают непереваренный материал в виде фекальных комочков, легко оседающих на дно. Еще большее значение имеет процесс образования моллюсками псевдофекалий. Таким образом, гидробионты ускоряют процессы осаждения, способствуя очистке воды от взвешенных веществ их осаждению их в донные отложения.

Минерализация органических загрязнений происходит главным образом за счет биохимических процессов, протекающих с участием разнообразных гидробионтов. Биохимические превращения в водоемах осуществляются как в водной среде, так и в донных отложениях.

При сильном загрязнении водоемов бытовыми промышленными сточными водами процессы самоочищения обычно замедляются и даже полностью прекращаются. Промышленные сточные воды вносят в водоем значительные количества различных химических веществ, которые ухудшают органолептические свойства воды и придают ей неприятный привкус, запах (хлорбензол,



дихлорэтан, стирол, нефть и др.), а также влияют на биологические и химические процессы самоочищения воды (ацетон, метанол, этиленгликоль и др.).

### **Расчетный створ. Кратность разбавления.**

Контрольный створ - это поперечное сечение водного потока, в котором контролируется качество воды. На водном объекте рыбохозяйственного назначения контрольный створ устанавливается в каждом конкретном случае, но не далее 500 м от места сброса сточных вод. При отсутствии у водного объекта особого водоохранного статуса контрольный створ назначается в 1 км от пункта водопользования, на водоемах - в радиусе 1 км.

Кратность разбавления показывает, во сколько раз поступающие сточные воды разбавляются водой водоема за время движения от места сброса до створа, расположенного на 1 км выше пункта водопользования.

Гигиеническое значение этого показателя заключается в следующем:

- зная кратность разбавления и исходную концентрацию сточных вод, можно ориентировочно установить степень загрязнения водоема;
- зная кратность разбавления, определяют условия выпуска сточных вод по органолептическим показателям.

## **ЛЕКЦИЯ 3-4**

### **Способы получения очищенной воды и очистки сточных вод**

Вредные химические элементы и вещества попадают в водоемы, ухудшая их санитарное состояние и вызывая необходимость специальной глубокой очистки воды перед использованием ее для хозяйственно-питьевых и некоторых промышленных целей. Способы очистки сточных вод делятся на механические, физико-химические, электрохимические, биохимические способы.

#### **Механическая очистка**

**Процеживание.** Для извлечения крупных примесей, во избежание засорения труб и каналов, используют решетки. Для удаления более мелких взвешенных частиц применяют сита, отверстия, которых зависят от улавливаемых примесей (0,5-1 мм). Для очистки от грубодисперсных примесей используется отстаивание в песколовках, отстойниках, нефтеловушках, осветлителях и др.

**Песколовки** предназначены для удаления механических примесей, размером более 250 мкм (песка, окалины). Принцип действия песколовки основан на изменении скорости движения твердых тяжелых частиц в потоке жидкости. Песколовки могут быть различных конструкций (с горизонтальным, вертикальным или круговым движением воды). Диаметр удаляемых частиц 0,2-0,25 мм, продолжительность протекания вод не более 30 с, глубина песколовок 0,25-1 м, ширина определяется расчетным путем.

**Нефтеловушки.** Применяются для выделения из сточных вод нефтепродуктов, масел и жиров. Принцип работы основан на всплывании частиц с меньшей, чем вода, плотностью. Скорость движения воды в нефтеловушке от 0,005-0,01 м/с, при этом всплывает 96-98% нефти. Скорость всплывания частиц зависит от их размера, плотности и вязкости раствора. Всплывают частицы 80-100 мкм. Время отстоя около 2 часов. Глубина нефтеловушки 1,5-4 м, ширина 3-6 м, длина около 12 м, количество секций не менее двух, соединенных последовательно.

**Фильтрование.** Применяется для выделения из сточных вод тонкодисперсных твердых и жидких частиц, которые не отстаиваются. В качестве фильтрующих материалов используются металлические сетки, тканевые фильтры (хлопчатобумажные, из стекло- и искусственного волокна), керамические, иногда используются зернистые материалы (песок, гравий, торф, уголь и др.). Это, как правило, резервуар, в нижней части которого устроен дренаж для отвода очищенной воды. Скорость фильтрования 0,1-0,3 м/ч. Очистка фильтров проводится путем продувки воздухом или промывкой.

**Гидроциклоны** очищают сточные воды от взвешенных частиц под действием центробежной силы. Вода с высокой скоростью тангенциально подается в гидроциклон. При вращении в нем жидкости на частицы действуют центробежные силы, отбрасывающие тяжелые частицы к периферии потока. Чем больше разность плотностей, тем лучше разделение.

#### **Физико-химические методы очистки.**

**Флотация** применяется для удаления из сточных вод нерастворимых диспергированных примесей, которые плохо отстаиваются. Для этого в воду подают воздух под давлением через перфорированные трубы с мелкими отверстиями. При движении через слой жидкости, пузырьки воздуха сливаются с частичками загрязнений и поднимают их на поверхность воды, где они собираются в виде пены. Эффект очистки зависит от величины пузырьков воздуха, которые должны иметь размер 10-15 мкм. Степень очистки составляет 95-98%. Для увеличения степени очистки в воду можно добавить коагулянты. Иногда во флотаторе одновременно проводится и окисление, тогда воду насыщают воздухом, обогащенным кислородом или озоном. В других случаях для устранения окисления флотацию осуществляют инертными газами. Флотация бывает напорная и вакуумная.

**Адсорбционная очистка** (очистка на твердых сорбентах) применяется для глубокой очистки сточных вод при незначительной концентрации загрязнителей, если они биологически не разлагаются или являются сильными ядами

(фенолы, гербициды, пестициды, ароматические и нитросоединения, СПАВы, красители и т.д.).

Адсорбция может быть реагентной, т.е. с извлечением вещества из адсорбента и деструктивной, с уничтожением извлекаемого вещества вместе с адсорбентом. Эффективность очистки, в зависимости от применяемого адсорбента, 80-95%. В качестве адсорбентов используют активированный уголь, золу, шлаки, синтетические сорбенты, глины, силикогели, алюмогели, гидраты окислов металлов. Наиболее универсальны активированные угли с радиусом пор 0,8-5 нм. Процесс адсорбции проводят либо при интенсивном перемешивании адсорбента и воды, с последующим отстаиванием, либо фильтрованием через слой адсорбента. Отработанный адсорбент регенерируют перегретым паром или нагретым инертным газом.

**Ионообменная очистка** применяется для извлечения из сточных вод металлов (Zn, Cu, Cr, Ni, Pb, Hg, Cd, Vа, Mn и др.), а также соединений мышьяка, фосфора, цианистых соединений и радиоактивных веществ. Метод позволяет рекуперировать ценные вещества.

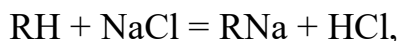
Суть метода состоит в том, что существуют природные и синтетические вещества (иониты), нерастворимые в воде, которые при смешивании с водой обменивают свои ионы на ионы, содержащиеся в воде. Иониты, способные поглощать -ные – анионитами. Иониты, обменивающие и катионы, и анионы, называются амфотерными. К неорганическим природным ионитам относятся цеолиты, глинистые минералы, полевые шпаты, различные слюды.

К неорганическим синтетическим относятся силикагели, труднорастворимые оксиды и гидроксиды некоторых металлов (алюминия, хрома, циркония и др.).

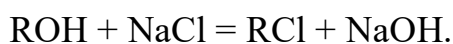
Органические природные иониты – это гуминовые кислоты почв и углей. К органическим искусственным ионитам относятся ионообменные смолы. Упрощенно формулу катионита можно записать  $RH$ , а анионита –  $ROH$ , где R – сложный радикал.

Реакция ионного обмена протекает следующим образом:

при контакте с катионитом:



при контакте с анионитом:



Процессы ионообменной очистки сточных вод проводят на установках периодического и непрерывного действия.

**Экстракция** применяется для очистки сточных вод, содержащих фенолы, масла, органические кислоты, ионы металлов и др. Экстракция выгодна, если стоимость извлекаемых веществ компенсирует затраты на ее проведение. При концентрации 3-4 г/л экстракция выгоднее адсорбции.

Экстракция проводится в 3 стадии:

1. Интенсивное смешивание сточной воды с экстрагентом (органическим растворителем). При этом образуются две жидкие фазы: одна фаза – экстракт, содержащий извлекаемые вещества и экстрагент, другая – рафинат – сточную воду и экстрагент;
2. Разделение экстракта и рафината;
3. Регенерация экстрагента из экстракта и рафината.

Экстрагент из экстракта выделяется выпариванием, дистилляцией, химическим взаимодействием и осаждением.

Ультрафильтрация – процессы фильтрования растворов через полупроницаемые мембраны под давлением, превышающим осмотическое.

Мембраны пропускают молекулы растворителя, задерживая растворенные вещества, размером  $< 0.5$  мкм.

### **Химические методы.**

К химическим методам очистки сточных вод относят нейтрализацию, коагулирование и флокулирование, окисление и восстановление.

Химическая очистка проводится как доочистка вод перед биологической очисткой или после нее.

**Нейтрализация.** Сточные воды, содержащие кислоты или щелочи, перед сбросом в водоемы или перед технологическим использованием подвергаются нейтрализации. Практически нейтральными считаются воды, имеющие рН 6,5 – 8,5.

Для нейтрализации кислых стоков используют щелочи, для нейтрализации щелочных – кислоты. Нейтрализацию можно проводить различными путями: смешением кислых и щелочных сточных вод, добавлением реагентов, фильтрованием через нейтрализующие материалы. Для нейтрализации кислых вод используют щелочи (NaOH, KOH), соду ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), аммиачную воду ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ), карбонаты кальция и магния ( $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ ), доломит ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ), цемент. Однако наиболее дешевым реагентом является известковое молоко ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ).

Для нейтрализации щелочных сточных вод используют магнезит, доломит, известняк, шлак, золу, а также применяют отходящие газы, содержащие  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$  и др. При этом происходит очистка дымовых газов от кислых компонентов.

**Коагуляция** – это процесс укрупнения дисперсных частиц при их взаимодействии и объединения в агрегаты. В очистке сточных вод ее применяют для ускорения процесса осаждения тонкодисперсных примесей и эмульгированных веществ. Коагулянты в воде образуют хлопья гидратов окисей металлов, которые быстро оседают под действием силы тяжести и улавливают коллоидные и взвешенные частицы.

**Флокуляция** – это процесс агрегации взвешенных частиц при добавлении в сточную воду высокомолекулярных соединений, называемых флокулянтами. В отличие от коагуляции агрегатизация происходит не только в результате контакта, но и в результате взаимодействия флокулянта и извлекаемого вещества. Для очистки используют природные и синтетические флокулянты (полиакриламид, крахмал, целлюлозы).

**Очистка окислением и восстановлением.** Для очистки сточных вод используют следующие окислители: газообразный и сжиженный хлор, диоксид хлора, хлорную известь, гипохлориты кальция и натрия, перманганат калия, дихромат калия, перекись водорода, кислород воздуха, озон и др.

При окислении токсичные загрязнения переходят в менее токсичные с последующим удалением из воды. Очистка окислением связана с большим расходом реагентов, поэтому окисление используется тогда, когда загрязнители трудно извлечь другими способами.

**Окисление хлором.** Хлор и вещества, содержащие активный хлор являются наиболее распространенными окислителями. Их используют для очистки сточных вод от сероводорода, фенолов, цианидов и бактерий.

При обеззараживании вод от цианидов их окисляют до азота и диоксида углерода:



При хлорировании воды бактерии, находящиеся в воде, погибают в результате окисления веществ, входящих в состав протоплазмы клеток.

Окисление кислородом воздуха используется при очистке воды от железа, для окисления двухвалентного железа в трехвалентное и последующего отделения гидроксида железа(III):



**Очистка восстановлением** применяется в тех случаях, когда вода содержит легко восстанавливаемые вещества (соединения ртути, хрома, мышьяка). При этом их восстанавливают до металлов, а затем удаляют фильтрованием или флотацией.

**Электрохимические методы очистки.** Для очистки вод от различных растворенных и диспергированных примесей применяют анодное окисление,

катодное восстановление, электрокоагуляцию, электрофлотацию, электродиализ. Все эти процессы протекают на электродах при пропускании через сточную воду постоянного электрического тока.

Питьевую воду готовят с особой тщательностью. Ее осветляют и обесцвечивают, пропускают через решетки и сита, освобождают от взвесей и коллоидных частиц с помощью коагулянтов, таких как сульфаты алюминия и железа. Обеззараживают воду хлорированием или озонированием. Окисляя соли двухвалентного железа в трехвалентное состояние с меньшей растворимостью, воду обезжелезивают. Кроме того, воду дегазируют, дезодорируют, т.е. удаляют запахи и привкусы, фторируют при недостатке фтора, опресняют путем термообработки электрохимическим методом или методом ионного обмена.



## ЛЕКЦИЯ 5

### Песколовки

Песколовки применяются при прокладке канализационных сетей с диаметром 150 мм и более на линии дач, причем все песколовки всех отделений должны быть рабочими.



Рис.3. Прямоугольные песколовки:  
а) продольный разрез; б) поперечный разрез

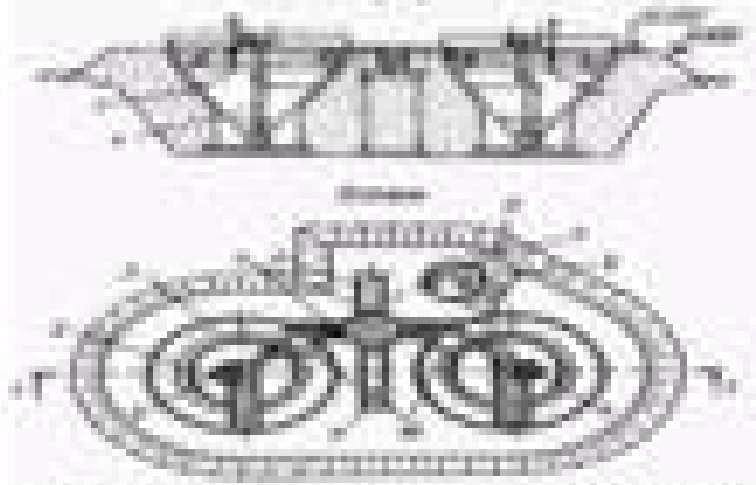


Рис.4. Овальные и круглые песколовки

1 - гидроэлеватор, 2 - трубопровод для отвода всплывающих примесей, 3 - желоб, 4 - затворы с ручным приводом, 5 - подводящий лоток, 6 - пульпопровод, 7 - трубопровод для рабочей жидкости, 8 - камера переключения, 9 - устройство для сбора всплывающих примесей, 10 - полупогружные щиты, 11 - отводящий лоток.

Тип песколовки (**горизонтальная, тангенциальная, аэрируемая**) выбирают с учетом производительности очистных сооружений, схемы очистки сточных вод и обработки их осадков, характеристики взвешенных веществ, компоновочных решений и т. п. При расчете горизонтальных и аэрируемых песколовок определяют длину  $L_s$ , м, по формуле:

$$L_s = 1000 \cdot K_s \cdot H \cdot v_s / U_0,$$

где  $K_s$ - коэффициент, принимаемый по табл. 2;  $H$ -расчетная глубина песколовки, м принимаемая для аэрируемых песколовок равной половине общей глубины;  $v_s$  -скорость движения сточных вод, м/с, принимаемая по табл.2,3;  $U_0$  – гидравлическая крупность песка, мм/с, принимаемая в зависимости от требуемого диаметра задерживаемых частиц песка.

Таблица 2

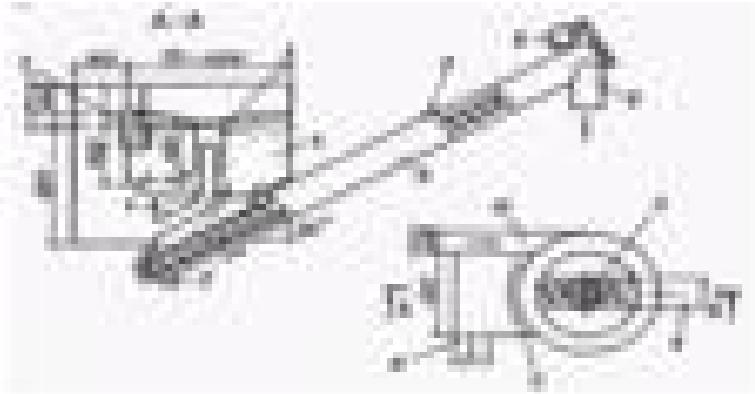
Диаметр задерживаемых частиц песка, мм	Гидравлическая крупность песка $U_0$ , мм/с	Коэффициент $K_s$ в зависимости от типа песколовки и скорости движения в глубине $H$ аэрируемых песколовок			
		Горизонтальная	Аэрируемая		
			$H \leq 1$	$H = 1,25$	$H \geq 1,5$
0,15	11,2	-	1,42	1,50	1,58
0,20	14,7	1,7	1,43	1,51	1,59
0,25	18,2	1,9	-	-	-

Таблица 3

Песколовка	Горизонтальная аэрируемая глубина $H_s$	Скорость движения сточных вод $v_s$ , м/с, при расчете		Глубина $H$ , м	Коэффициент $K_s$	Время отстаивания, мин	Содержание осадка в осадке, %
		Минимальная	Максимальная				
Горизонтальная	18,2-24,2	0,11	0,3	0,5-2	0,22	40	95-99
Аэрируемая	11,2-18,2	-	0,08-0,12	0,7-3,3	0,34	-	90-95
Тангенциальная	18,2-24,2	-	-	0,3	0,22	40	98-99

При проектировании песколовок по таблице 3 принимают:

- а) для горизонтальных песколовков - продолжительность протекания сточных вод при максимальном притоке не менее 30 с;
- б) для аэрируемых песколовков: установку аэраторов из дырчатых труб - на глубину 0,7 Н, вдоль одной из продольных стен над лотком для сбора песка;
- интенсивность аэрации-3-5 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup> ч);
- поперечный уклон дна к песковому лотку - 0,2-0,4;
- впуск воды - совпадающий с направлением вращения воды в песколовке, выпуск - затопленный;
- отношение ширины к глубине отделения- В:Н=1:1,5;



**Рис.5** Тангенциальная песколовка с аэрирующей водной поверхностью: 1 - стационарная часть, 2 - подвижный фронтальный водосбор, 3 - маневренная труба, 4 - рабочая часть, 5 - заслонка, 6 - шнек, 7 - отверстие для сброса избыточной аэрирующей воды, 8 - контрольно-измерительный прибор, 9 - отверстие для отвода воды, 10 - подвижный шнек, 11 - стационарный шнек

а) для маневренной части песколовки: диаметр - 100 мм, при маневренной работе: впуск воды - на высоте 0,7 Н от расчетной глубины, диаметр - равен половине диаметра; диаметр - не более 8 м.

Удаление задержанного песка на песчаном слое можно предусматривать: вручную - при объеме стока до 0,1 м<sup>3</sup>/сут; гидромеханически - гидромеханическим способом с транспортированием песка в лоток и последующим отводом за пределы песколовки гидромеханическим способом; пневматическим способом - при объеме стока до 0,1 м<sup>3</sup>/сут.

Расход производственной воды  $q_h$ , л/с, при гидромеханическом удалении песка (гидросмывом с помощью трубопровода со sprays, укладываемого в песковый лоток) необходимо определять по формуле:

$$q_h = v_h \cdot L_{sc} \cdot b_{sc} ,$$

где  $v_h$  - восходящая скорость смывной воды в лотке, принимаемая равной 0,0065 м/с;  $L_{sc}$  -длина пескового лотка, равная длине песколовки за вычетом длины пескового приямка, м;  $b_{sc}$  - ширина пескового лотка, равная 0,5 м.

Количество песка, задерживаемого в песколовках, для бытовых сточных вод принимают - 0,02 л/(чел·сут), влажность песка 60%, объемный вес 1,5 т/м<sup>3</sup>. Объем пескового приямка следует принимать не более двухсуточного объема выпадающего песка, угол наклона стенок приямка к горизонту - не менее 60°. Для подсушивания песка, поступающего из песколовки, предусматривают площадки с ограждающими валиками высотой 1-2 м. Допускается применять накопители со слоем напуска песка до 3 м в год. Удаляемую с песковых площадок воду направляют в начало очистных сооружений. Для съезда автотранспорта на песковые площадки устраивают пандус уклоном 0,12-0,2. Для отмывки и обезвоживания песка предусматривают устройство бункеров, приспособленных для последующей погрузки песка в мобильный транспорт.

Для поддержания в горизонтальных песколовках постоянной скорости движения сточных вод на выходе из песколовки предусматривают водослив с широким порогом.

### **Аэрируемые песколовки**

Аэрируемые песколовки применяют в тех случаях, когда требуется наиболее полное разделение примесей по крупности. Воздух способствует вращению воды и тем самым, повышается эффективность осаждения. В горизонтальных аэрируемых песколовках вдоль одной из стен на расстоянии 45÷60мм от дна устанавливают аэраторы в виде перфорированных труб с отверстиями 3-5мм. Эти сооружения рассчитаны на скорость движения воды от 0,08 - 0,12 м/с. Отношение  $V/H=1\div 1,5$ . Общую глубину задают в пределах 0,7÷2,5 м. Интенсивность аэрации принимают 3 ÷ 5 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·час. При расчётах используют те же формулы, что и для горизонтальных песколовки: определяют длину  $L=H \cdot v \cdot K_s / U_0$  и объем воздуха для аэрации:  $q = 4 \cdot V \cdot L$ .

## **ЛЕКЦИЯ 6**

### **Двухъярусные отстойники**

**Двухъярусные отстойники (эмшерские колодцы)** применяют для отстаивания, сбраживания и уплотнения выпавшего осадка на небольших и средних очистных сооружениях.

Отстойник представляет собой сооружение цилиндрической или конической формы с коническим или пирамидальным днищем, в верхней части отстойника находятся осадочные желоба, а нижняя служит иловой (гнилостной или септической) камерой. Осветление протекающей сточной воды происходит в осадочных желобах, особенностью конструкции которых является перекрытие одной нижней стенки другой не менее чем на 0,15 м, чтобы всплывающие при перегнивании частицы ила и пузырьки газа не попадали в желоб. Сбраживание осадка происходит в две фазы: кислую и щелочную в иловой камере, откуда затем осадок удаляется под гидростатическим давлением. Эффект очистки стоков в одиночных сооружениях составляет только 20...25%, в спаренных он увеличивается до 50...55%. Осадочные желоба проектируют из условия продолжительности отстаивания 1,5 ч. Вместимость септической камеры определяют в зависимости от среднезимней температуры.

Основными недостатками двухъярусного отстойника являются несовершенство конструкции горизонтального желоба, большой объем септической части и частое образование на поверхности воды корки, которая ухудшает качество очистки.

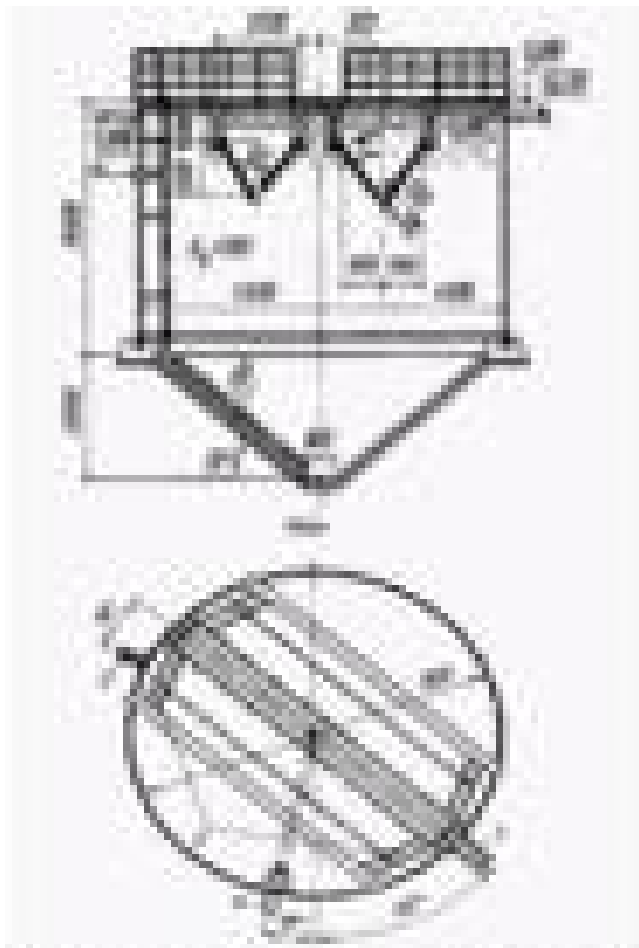


Рис. 1.1 Классический двухкамерный осветлитель.

1 – распределительный щиток, 2 – флоккуляционная камера, 3 – осветлительный щиток, 4 – выход осадка

В осветлителях-перегнивателях горизонтальный отстойник заменен осветлителем с естественной аэрацией и камерой флокуляции, обеспечивающим более высокий эффект очистки - до 70% по взвешенным веществам и 15% по БПК<sub>полн</sub>. Камера брожения отделена от отстойника и расположена вокруг него, что способствует подогреву осадка поступающими сточными водами. В результате стало возможным осуществить механическое перемешивание осадка насосами, что предотвратило образование корки и чрезмерное уплотнение осадка. Разность уровней воды в распределительной чаше и осветлителе должна быть **0,6м**.

Вместимость камеры флокуляции рассчитывают на продолжительность пребывания в ней не более 20 минут. Вместительность камеры брожения (пе-

регнивателя) определяют по суточной дозе загрузки, которая зависит от средней температуры и влажности осадка. В спаренных отстойниках следует обеспечивать возможность изменения направления движения сточных вод в осадочных желобах. При проектировании двухъярусных отстойников принимают:

- свободную поверхность водного зеркала для всплывания осадка - не менее 20 % площади отстойника в плане;
- расстояние между стенками соседних осадочных желобов - не менее 0,5 м;
- наклон стенок осадочного желоба к горизонту - не менее 50°;
- стенки должны перекрывать одна другую не менее чем на 0,15 м;
- глубину осадочного желоба - 1,2-2,5 м;
- ширину щели осадочного желоба - 0,15 м;
- высоту нейтрального слоя от щели желоба до уровня осадка в септической камере - 0,5 м;
- уклон конического днища септической камеры - не менее 30°;
- влажность удаляемого осадка - 90 %;
- распад беззольного вещества осадка - 40 %;
- эффективность задержания взвешенных веществ - 40-50 %. Вместимость септической камеры двухъярусных отстойников надлежит определять по табл.5.

Таблица 5

Среднедневная температура сточных вод, °С	8	7	6,5	6	5,5	5	4,5
Вместимость септической камеры, м³/сут. чел.	1,10	0,91	0,80	0,75	0,68	0,60	0,55

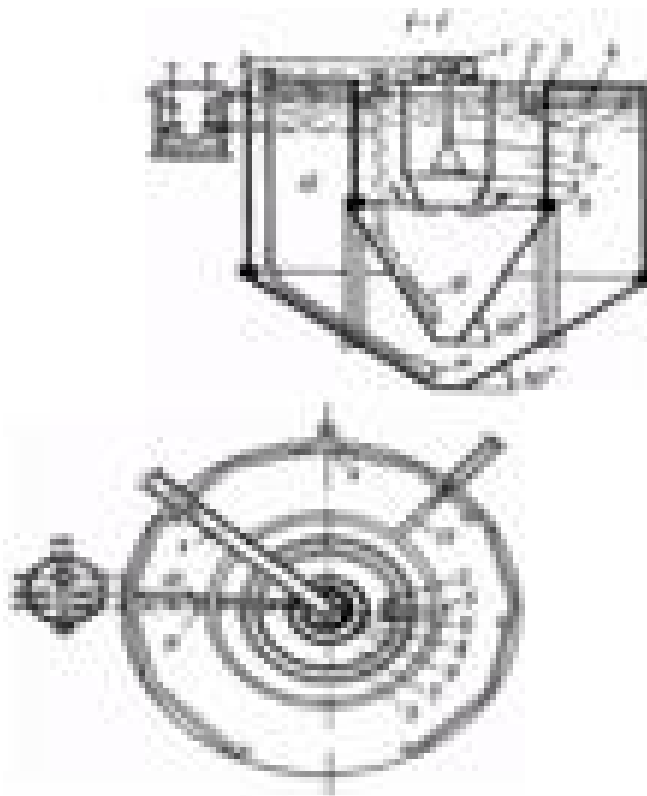


Рис.11 Осветлитель-перемешиватель

1 - подающий лоток, 2 - лоток для удаления ила, 3 - сборный лоток, 4 - аэрационная труба, 5 - труба для удаления ила, 6 - подающая труба, 7 - аэрационная труба, 8 - аэрационный шланг, 9 - камера фильтрации, 10 - лоток ила, 11 - труба для удаления осевшего ила, 12 - камера для сбора ила, 13 - лоток для удаления осевшего ила.

Примечания:

1. Вместимость септической камеры двухъярусных отстойников должна быть увеличена на 70 % при подаче в нее ила из аэротенков на полную очистку и высоконагружаемых биофильтров и на 30 % при подаче ила из отстойников после капельных биофильтров и аэротенков на неполную очистку. Впуск ила должен производиться на глубине 0,5 м ниже щели желобов.

2. Вместимость септической камеры двухъярусных отстойников для осветления сточной воды при подаче ее на поля фильтрации уменьшают не более чем на 20 %.

При среднегодовой температуре воздуха до 3,5 °С двухъярусные отстойники с пропускной способностью до 500 м<sup>3</sup>/сут размещают в отапливаемых



помещениях, при среднегодовой температуре воздуха от 3,5 до 6 °С и пропускной способности до 100 м<sup>3</sup>/сут - в неотапливаемых помещениях.

При проектировании **осветлителей** принимают:

- диаметр осветлителя - не более 9 м, разность уровней воды в распределительной чаше и осветлителе - 0,6 м без учета потерь напора в коммуникациях;
- вместимость камеры флокуляции - на пребывание в ней сточных вод не более 20 мин;
- глубину камеры флокуляции - 4-5 м;
- скорость движения воды в зоне отстаивания - 0,8-1,5 мм/с;
- в центральной трубе - 0,5-0,7 м/с;
- диаметр нижнего сечения камеры флокуляции - исходя из средней скорости 8-10 мм/с;
- расстояние между нижним краем камеры флокуляции и поверхностью осадка в иловой части - не менее 0,6 м;
- уклон днища осветлителя - не менее 50°;
- снижение концентрации загрязняющих веществ по взвешенным веществам - до 70 % и по БПК<sub>полн</sub> - до 15%.

При проектировании **перегнивателей** принимают:

- вместимость перегнивателя по суточной дозе загрузки осадка - в зависимости от влажности осадка и среднезимней температуры сточных вод;
- суточную дозу загрузки осадка по табл. 6;

Таблица 6

Средняя температура сточных вод, °С	6	7	8,5	10	12	13	20
Суточная доза загрузки осадка, %	0,72	0,82	1,02	1,28	1,7	2,12	3

Примечания:

1. Суточная доза загрузки указана для осадка влажностью 95 %. При влажности  $\rho_{\text{mud}}$ , отличающейся от 95 %, суточная доза загрузки уточняется умножением табличного значения на отношение:  $5/(100-\rho_{\text{mud}})$ .



## ЛЕКЦИЯ 7

### Аэротенки

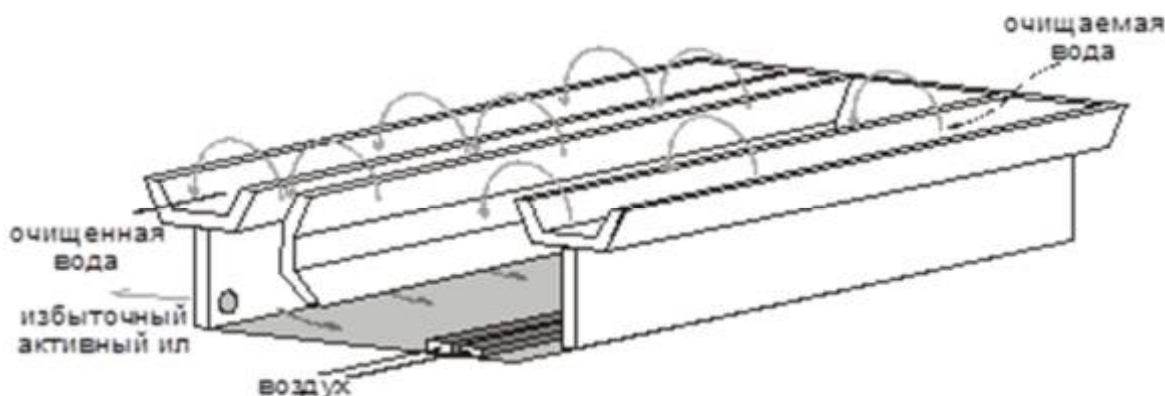
Процесс биологической очистки основан на способности микроорганизмов использовать растворенные органические вещества сточных вод для питания в процессе жизнедеятельности. Часть органических веществ превращается в воду, диоксид углерода, нитрит - и сульфат-ионы, часть идет на образование биомассы. Сооружения биологической очистки можно условно разделить на два вида:

- 1) с очисткой в условиях, близких к естественным;
- 2) с очисткой в искусственно созданных условиях.

К первому виду относятся поля фильтрации и орошения (земельные участки, в которых очистка происходит за счет фильтрации через слой грунта), а также биологические пруды (неглубокие водоемы, в которых происходит очистка, основанная на самоочищении водоемов). Второй вид составляют такие сооружения, как биофильтры и аэротенки.

**Биофильтр** - резервуар с фильтрующим материалом, поверхность которого покрыта биологической пленкой (колония микроорганизмов, способных сорбировать и окислять органические вещества из сточных вод).

**Аэротенк** - резервуар, в котором очищаемые стоки смешиваются с активным илом (биоценоз микроорганизмов, также способных поглощать органику из стоков). Биологическая очистка является основным методом обработки городских сточных вод.





### **Состав активного ила и биопленки**

Аэротенк представляет собой сооружение с постоянно протекающей внутри сточной водой, во всей толщине которой развиваются аэробные микроорганизмы, потребляющие субстрат. Сточные воды поступают в аэротенк, как правило, после стадии механической очистки. Для обеспечения нормального процесса БХО в аэротенках необходимо непрерывно подавать воздух, что достигается с помощью пневматической, механической или пневмомеханической аэрации. По структуре движения потоков очищаемой сточной воды и возраста активного ила различают: аэротенки-вытеснители; аэротенки-смесители; аэротенки с рассредоточенным впуском воды; типа АНР (по К. Бойте)

*В аэротенках - вытеснителях* сточная вода и возвратный ил подаются сосредоточенно с одной из торцовых сторон сооружения, а выпускаются также сосредоточенно с другой торцовой стороны. Подача и выпуск сточной воды и ила *в аэротенках-смесителях* осуществляется равномерно вдоль длинных сторон коридора аэротенка. *В аэротенках с рассредоточенной подачей сточной воды* сточная вода подводится рассредоточено в нескольких точках по длине аэротенка, а отводится сосредоточенно из его торцовой части. Возвратный ил подается сосредоточенно в начале аэротенка. Аэротенки-вытеснители целесообразно применять при концентрации загрязнений БПК<sub>полн</sub> поступающей воды до 300 мг/л, а аэротенки-смесители до 1000 мг/л по БПК<sub>полн</sub>.

Аэротенки различных типов применяют для биологической очистки городских и производственных сточных вод. Аэротенки, действующие по принципу *вытеснителей*, применяют при отсутствии залповых поступлений токсичных веществ, а также на второй ступени двухступенчатых схем.

Комбинированные сооружения типа аэротенков-отстойников (*аэроакселераторы, окситенки, флототенки, аэротенки-осветлители и др.*) при обосновании допускается применять на любой ступени биологической очистки.

Регенерацию активного ила необходимо предусматривать при БПК<sub>полн</sub> поступающей в аэротенки воды свыше 150 мг/л, а также при наличии в воде вредных производственных примесей.

Вместимость аэротенков определяют по среднечасовому поступлению воды за период аэрации в часы максимального притока. Расход циркулирующего активного ила при расчете вместимости *аэротенков без регенераторов* и вторичных отстойников не учитывается.

Активный ил является амфотерной коллоидной системой. Элементный химический состав активных илов достаточно близок и для городских сточных вод имеет формулу –  $C_{54}H_{212}O_{82}N_8S_7$ . Сухое вещество активного ила содержит 70÷90 % органических и 10÷30 % неорганических веществ. Кроме живых организмов, в иле содержится субстрат - различные твердые остатки, к которым крепятся микроорганизмы.

По внешнему виду активный ил представляет собой комочки и хлопья размером 3÷150 мкм с высокой удельной поверхностью - около 1200 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup> ила. Сообщество живых организмов, населяющих активный ил или биопленку, называют биоценозом. Биоценоз активного ила представлен в основном 12 видами микроорганизмов и простейших. Биоценоз активных илов состоит из бактерий, простейших, плесневых грибов, дрожжей, актиномицет, личинок насекомых, рачков, водорослей и др.

Основное разрушение органических загрязнений в стоках осуществляется бактериями. В 1 м<sup>3</sup> ила содержится 2-10<sup>14</sup> бактерий. В активном иле они

находятся в виде скоплений, окруженных слизистым слоем (зооглеи). Бактерии представлены такими типами, как псевдомонас, бациллулус, нитробактер, нитросомонас и др.

В активных илах встречаются четыре вида простейших: саркодовые, жгутиковые, реснитчатые и сосущие инфузории, которые поглощают большое количество бактерий, поддерживая их оптимальное количество (одна инфузория в среднем поглощает от 20 до 40 тысяч бактерий). Они способствуют осаждению ила и осветлению сточных вод во вторичных отстойниках. Находящиеся на следующем трофическом уровне коловратки питаются бактериями и простейшими.

Состав биоценоза ила зависит от наличия и концентрации в сточной воде разнообразных органических веществ. Только основная группа бактерий (80÷90%) участвует в процессе очистки сточных вод, остальное содержание ила составляют сопутствующие группы микробов. При высоком содержании органики в сточной воде преобладают гетеротрофные бактерии, при снижении питательных веществ увеличивается количество хищных простейших.

Состояние активного ила характеризует иловый индекс, который зависит от способности ила к осаждению. Крупные хлопья оседают быстрее, чем мелкие. Биопленка растет на наполнителе биофильтра и имеет вид слизистых образований толщиной 1÷2 мм. Видовой состав биопленки более разнообразен, чем активного ила. Биопленка состоит из бактерий, грибов, дрожжей, личинок насекомых, червей, клещей и других организмов. В 1 м<sup>3</sup> биопленки содержится 10<sup>12</sup> бактерий.

### **Закономерности распада органических веществ**

Процесс разрушения сложных органических соединений происходит в определенной последовательности и в присутствии катализаторов этих реакций - ферментов, которые выделяются клетками бактерий.

Ферменты - сложные белковые соединения (молекулярная масса достигает сотен тысяч и миллионов), ускоряющие биохимические реакции. Ферменты бывают одно- и двухкомпонентные.

Двухкомпонентные ферменты состоят из белковой (апофермент) и небелковой (кофермент) части. Каталитической активностью обладает кофермент, а белковый носитель увеличивает его активность. Различают ферменты, вырабатываемые бактериями для внеклеточного расщепления веществ - экзоферменты, и внутренние пищеварительные ферменты – эндоферменты.

Особенность ферментов состоит в том, что каждый из них катализирует только одно из многих превращений. Существуют шесть основных ферментных классов: оксиредуктазы, трансферазы, гидралазы, лиазы, изомеразы и лигазы. Для разрушений сложной смеси органических веществ необходимо 80÷100 различных ферментов, каждый из них имеет свою оптимальную температуру, выше которой скорость реакции падает.

Процесс биологического окисления состоит из множества ступеней и начинается с расщепления органического вещества с выделением активного водорода. В этом процессе особую роль играют ферменты класса оксиредуктазы: дегидрогеназы (отнимающие водород от субстрата), каталазы (расщепляющие перекись водорода) и пероксидазы (использующие активированную перекись для окисления других органических соединений).

Существуют вещества, которые повышают активность ферментов - активаторы (витамины, катионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ), и ингибиторы, оказывающие противоположное действие (например, соли тяжелых металлов, антибиотики).

Ферменты, которые постоянно присутствуют в клетках, независимо от субстрата, называются конститутивными. Ферменты, которые синтезируются клетками в ответ на изменение внешней среды, называются адаптивными. Срок адаптации составляет от нескольких часов до сотен дней.

### **Зависимость скорости биологической очистки от различных факторов**

При заданной степени очистки основными факторами, влияющими на скорость биохимических реакций, являются **концентрация потока, содержание кислорода в сточной воде, температура и рН среды, содержание биогенных элементов, а также тяжелых металлов и минеральных солей.**

**Турбулизация** потока сточной воды приводит к увеличению скорости поступления питательных веществ и кислорода к микроорганизмам, что приводит к увеличению скорости очистки. Турбулизация обеспечивается интенсивным перемешиванием подаваемым воздухом или механическими способами.

Повышение температуры сточной воды увеличивает скорость протекания очистки в 2÷3 раза, но только в пределах 20÷30°C. При этом необходимо проводить более интенсивную аэрацию, так как растворимость кислорода с увеличением температуры падает. При более низких температурах замедляется процесс адаптации бактерий к новым видам загрязнений, ухудшаются процессы нитрификации, флокуляции и осаждения активного ила.

Соли тяжелых металлов сорбируются активным илом, при этом снижается биохимическая активность ила и происходит его вспухание из-за интенсивного развития нитчатых форм бактерий. По степени токсичности тяжелые металлы можно расположить в следующем порядке: **Sb > Ag > Си > Hg > Со > Ni > Pb > Cr<sup>3+</sup> > V > Cd > Zn > Fe.**

### **Абсорбция и потребление кислорода**

В процессе аэрации вода насыщается пузырьками воздуха, затем кислород из пузырьков абсорбируется водой и переносится к микроорганизмам. Перенос кислорода из газовой фазы к клеткам происходит в два этапа. На первом этапе происходит перенос кислорода из воздушных пузырьков в основную массу жидкости, на втором - перенос абсорбированного кислорода из основной массы жидкости к клеткам под действием турбулентных пульсаций. Скорость всего процесса лимитируется диффузионным сопротивлением воды при абсорбции кислорода.

Наиболее надежный способ увеличения количества абсорбированного кислорода - повышение объемного коэффициента массоотдачи. Это достигается дроблением газовых пузырьков и увеличением газосодержания потока сточной воды.



Скорость потребления кислорода микроорганизмами не превышает скорость его абсорбции. Скорость потребления кислорода увеличивается с увеличением содержания его в воде, однако, только до определенного предела.

Концентрация кислорода в воде, при которой скорость потребления его становится постоянной и не зависит от дальнейшего повышения концентрации, называется критической. Критическая концентрация меньше равновесной и зависит от природы микроорганизмов и температуры. Биогенные элементы и микроэлементы являются необходимыми для успешного протекания биохимических реакций в сточной воде.

Аэрационные установки на полное окисление рекомендуется применять для очистки сточных вод с расходом до 700 м<sup>3</sup>/сут. Механическая очистка производится только на решетках и решетках-дробилках. Установки существуют в двух вариантах: строящиеся на месте из сборного или монолитного железобетона и серийные установки заводского изготовления (марки КУ, БИО и др.).

Аэрационные установки с аэробной стабилизацией активного ила применяются при расходах стоков более 200 м<sup>3</sup>/сут. Механическая очистка предусматривается такая же, как для аэротенков с продленной аэрацией. Такие установки изготавливаются на заводах серийно.

*Циркуляционные окислительные каналы* наиболее дешевые и простые из всех сооружений биологической очистки в искусственно созданных условиях. Они применяются в районах с расчетной температурой не ниже -25°С в случаях, когда установки заводского изготовления применять нецелесообразно.

Капельные биофильтры допускается применять в особых случаях, сточные воды предварительно должны пройти механическую очистку в септиках или в решетках, песколовках и двухъярусных отстойниках. В средней полосе России биофильтры располагают в зданиях, что обуславливает их высокую строительную стоимость.

## **ЛЕКЦИЯ 8**

### **Метантенки**

Метантенки следует применять для анаэробного сбраживания осадков городских сточных вод с целью стабилизации и получения метаносодержащего газа брожения, при этом необходимо учитывать состав осадка, наличие веществ, тормозящих процесс сбраживания и влияющих на выход газа. Совместно с канализационными осадками допускается подача в метантенки других сбраживаемых органических веществ после их дробления (домового мусора, отбросов с решеток, производственных отходов органического происхождения и т. п.).

Для сбраживания осадков в метантенках допускается принимать мезофильный ( $T=33^{\circ}\text{C}$ ) либо термофильный ( $T=53^{\circ}\text{C}$ ) режим. Выбор режима сбраживания производят с учетом методов последующей обработки и утилизации осадков, а также санитарных требований. Для поддержания требуемого режима сбраживания предусматривают загрузку осадка в метантенки, как правило, равномерную в течение суток;

Обогрев метантенков острым паром, выпускаемым через эжектирующие устройства, либо подогрев осадка, подаваемого в метантенк, в теплообменных аппаратах. Необходимое количество тепла следует определять с учетом теплотерь метантенков в окружающую среду.

Определение вместимости метантенков производят в зависимости от фактической влажности осадка по суточной дозе загрузки, принимаемой для осадков городских сточных вод по таблице 24, а для осадков производственных сточных вод – на основании экспериментальных данных.

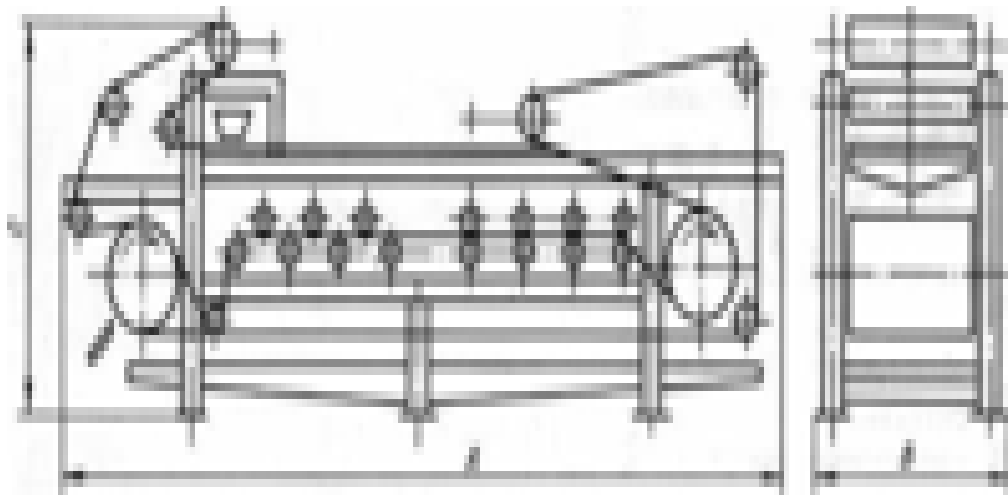


### **Сгущение осадков**

Уплотнители и сгустители следует применять для повышения концентрации активного ила. При проектировании радиальных и горизонтальных илоуплотнителей принимают: выпуск уплотненного осадка под гидростатическим напором не менее 1 м; илососы или илоскребы для удаления осадка; подачу иловой воды из уплотнителей в аэротенки; число илоуплотнителей не менее двух, причем оба рабочие.

Для флотационного сгущения активного ила применяют метод напорной флотации с использованием резервуаров круглой или прямоугольной формы. Флотационное уплотнение производят как при непосредственном насыщении воздухом объема ила, так и с насыщением рециркулирующей части осветленной воды.

Влажность уплотненного активного ила в зависимости от типа флотатора и характеристики ила составляет 94,5-96,5%. Для механического удаления воды из осадков сточных вод, предварительно обработанных флокулянтами используется ленточные фильтр-прессы ЛМН. Они позволяют существенно снизить объем осадка для оптимальной загрузки в метантенки и затрат на утилизацию. В некоторых производственных процессах ленточные фильтр-прессы используются для получения свободного от твердых частиц фильтрата. Осадки после уплотнения поступают на площадки подсушивания.



### **Площадки подсушивания**

Площадки подсушивания предусматривают для интенсификации процесса обезвоживания осадков в естественных условиях за счет испарения воды. Площадки подсушивания, применяемые в районах с устойчивым дефицитом влажности 800 мм и более, надлежит рассчитывать на ежегодный вывоз подсушенного осадка на площадки складирования.

Площадки подсушивания следует выполнять в виде земляных сооружений, имеющих спланированное грунтовое основание, обвалованное грунтом с устройствами для напуска осадка и отвода выделившейся при уплотнении осадка осветленной воды и воды атмосферных осадков.

Осадок от станций водоподготовки направляют на площадки подсушивания только после сгущения. Целесообразно устраивать площадки на хорошо фильтрующих грунтах. Расчет площадок подсушивания начинают с выявления длительности периода устойчивого дефицита влажности  $D_y > 0$ , района размещения площадок и значения  $D_y$  этого периода, которое определяют по формуле:

$$D_y = E - A,$$

где  $E$  - количество воды, испарившейся за период устойчивого дефицита влажности, мм;  $A$  - количество атмосферных осадков за период устойчивого дефицита влажности, мм.

Значение  $E$  вычисляют по формуле:

$$E = 0,15T_y (l_0 - l_{200})(1 + 0,72 \cdot v_{200})$$

где  $T_y$  - длительность периода устойчивого дефицита влажности, сут;  $l_0$  - средняя упругость насыщенных водяных паров, соответствующая температуре осадка, миллибар;  $l_{200}$  - средняя упругость водяных паров, соответствующая абсолютной влажности воздуха на высоте 200 см от водной поверхности, миллибар;  $v_{200}$  - средняя скорость ветра на высоте 200 см, м/с.

Общую полезную площадь площадок подсушивания  $F$  определяют по формуле:

$$F = F_n + F_y,$$

где  $F_n$  и  $F_y$  - соответственно, полезная площадь площадок периода неустойчивого дефицита влажности и площадок периода устойчивого дефицита влажности,  $m^2$ .

Объем осадка на площадках периода неустойчивого дефицита влажности  $W_n$ ,  $m^3$  надлежит определять по формуле:

$$W_n = Q \cdot T_n \cdot C_n / 10^4 (100 - P_n) \cdot \rho_n,$$

где  $Q$  - расчетный расход воды на станции водоподготовки,  $m^3/сут$ ;  $T_n$  - длительность периода неустойчивого дефицита влажности (периода напуска осадка на площадки), сут;  $C_n$  - средняя за период неустойчивого дефицита влажности концентрация взвешенных веществ в исходной воде,  $г/м^3$ ;  $P_n$  и  $\rho_n$  - средняя влажность, %, и плотность осадка,  $г/м^3$ , в зависимости от длительности уплотнения осадка  $T_y$  - мес, принимаемой от середины периода неустойчивого дефицита влажности до начала периода устойчивого дефицита влажности.

Объем осадка на площадках периода устойчивого дефицита влажности  $W_y$ ,  $m^3$ , следует определять по формуле:

$$W_y = Q \cdot T_y \cdot C_y / 10^4 (100 - P_y) \cdot \rho_y,$$

где  $C_y$  - средняя за период устойчивого дефицита влажности концентрация взвешенных веществ в исходной воде,  $г/м^3$ ;  $P_y$  - средняя влажность осадка, %, определяемая в зависимости от  $C_y$ ;  $\rho_y$  - плотность осадка,  $г/м^3$ , соответствующая  $P_y$ .

Полезную площадь площадок периода неустойчивого дефицита влажности  $F_n$  определяют по формуле:

$$F_n = W_n / H_n,$$

где  $H_n$  - слой уплотненного осадка на площадках периода неустойчивого дефицита влажности перед наступлением периода устойчивого дефицита влажности, м.  $H_n = 0,3$  м при  $D_y < 1000$  мм,  $H_n = 0,5$  м при  $D_y > 1000$  мм.

Полезную площадь площадок периода устойчивого дефицита влажности  $F_y$  рассчитывают по формуле:

$$F_y = 1000 W_y / D_y.$$

Строительную высоту оградительного обвалования площадок подсушивания  $H_{стр,м}$ , определяют по формуле:

$$H_{стр} = W / F + 0,2.$$

Распределять осадок по площадкам подсушивания предпочтительно лотками.

### **Сооружения для обеззараживания, компостирования, термической сушки и сжигания осадка**

Осадок подлежит подвергают обеззараживанию в жидком виде или после подсушки на иловых площадках, или после механического обезвоживания. Обеззараживание и дегельминтизацию сырых, мезофильно сброженных и аэробно стабилизированных осадков осуществляют путем их прогревания до  $60$  °С с выдерживанием не менее 20 мин при расчетной температуре.

Для обеззараживания обезвоженных осадков допускается применять биотермическую обработку (компостирование) в полевых условиях. Компостирование осадков следует осуществлять в смеси с наполнителями (твердыми бытовыми отходами, торфом, опилками, листвой, соломой, молотой корой) или готовым компостом.

Соотношение компонентов смеси обезвоженных осадков сточных вод и твердых бытовых отходов составляет 1:2 по массе, а с другими указанными наполнителями - 1:1 по объему с получением смеси влажностью не более 60%.

Процесс компостирования следует осуществлять на обвалованных асфальтобетонных или бетонных площадках с использованием средств механизации в штабелях высотой от 2,5 до 3 м при естественной и до 5 м при принудительной аэрации.

При проектировании аэрируемых штабелей предусматривают: укладку в основании каждого штабеля перфорированных труб диаметрами 100÷200 мм с размерами отверстий 8÷10 мм; подачу воздуха (расход воздуха - 15÷25 м<sup>3</sup>/ч на 1 т органического вещества осадка).

Длительность процесса компостирования принимают в зависимости от способа аэрации, состава осадка, вида наполнителя, климатических условий и на основании опыта эксплуатации в аналогичных условиях или по данным научно-исследовательских организаций. В процессе компостирования необходимо предусматривать перемешивание смеси.

## **ЛЕКЦИЯ 9**

### **ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ СВ**

Обеззараживание(дезинфекция)хозяйственно-фекальных сточных вод производится с целью уничтожения содержащихся в них патогенных микроорганизмов и устранения опасности заражения водоема – приемника очищенных сточных вод. Среди известных методов наиболее широкое практическое применение получило хлорирование: хлорной известью  $\text{CaCl}_2\text{O}$ , жидким хлором  $\text{Cl}_2$ , электролитически получаемым гипохлоритом натрия  $\text{NaClO}$  и путем прямого электролиза. При растворении этих веществ в воде происходит образование активного хлора – комплекса химических соединений хлора, из которых наиболее активными являются хлорноватистая кислота  $\text{HClO}$  и гипохлорит-ион  $\text{ClO}^-$ .

В настоящее время предполагается, что гибель бактерий при хлорировании происходит в результате химического воздействия активного хлора на органическое вещество и ферментную систему клеток, что в конечном итоге приводит к утрачиванию бактериями способности к окислению глюкозы и гибели.

В качестве косвенного санитарно-бактериологического показателя фекального загрязнения воды используют количество в воде кишечных палочек  $\text{Coli}$ . Коли-индекс – число кишечных палочек в 1 литре воды. Коли-титр – наименьший объем воды (мл), в котором содержится 1 кишечная палочка.

Расчетную дозу активного хлора ( $\text{г/м}^3$ ), следует принимать: после механической очистки, после неполной биологической очистки, после полной биологической, физико-химической и глубокой очистки.

Бактерицидная эффективность обеззараживающего действия хлора и хлорсодержащих соединений находится в прямой зависимости от продолжительности контакта, возрастая с увеличением длительности действия хлора. Продолжительность взаимодействия хлора со сточной водой в контактном резервуаре или отводящих лотках и трубопроводах следует принимать не менее 30 минут.



В каждом конкретном случае доза активного хлора уточняется в процессе эксплуатации. При этом количество остаточного хлора в обеззараженной воде после контакта не должно превышать  $1,5 \text{ г/м}^3$ , а коли-индекс – не более 1000.

В настоящее время применяется несколько типов установок для приготовления и дозирования растворов, содержащих активный хлор.

**Первый тип**- установки для приготовления раствора хлорной извести или гипохлоритов с необходимой концентрацией с последующей подачей его в воду.

**Второй тип** – хлораторы, в них последовательно происходит испарение хлора, его механическая очистка, дозирование и растворение в воде с образованием хлорной воды, которая затем смешивается в смесителях со стоками.

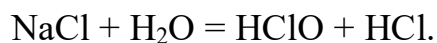
К **третьему** типу относятся электролизеры, которые позволяют получить гипохлорит натрия электрохимическим путем из сырья – раствора поваренной соли.

И, наконец, **четвертым** типом являются установки прямого электролиза сточной воды, которые позволяют получать обеззараживающие продукты путем электролитического разложения хлоридов, находящихся в сточной воде.

Установки с использованием хлорной извести в основном однотипны и отличаются лишь некоторыми конструктивными деталями и габаритами. Схема этой установки с поплавковым дозатором рис.60. Расходные баки работают поочередно: в одном готовят раствор, из другого подают его на обеззараживание. На установках с использованием жидкого хлора в обеззараживаемую жидкость хлор поступает в виде хлорной воды, получаемой при растворении газообразного хлора.

Широкое распространение получили вакуумные хлораторы рис.61, которые более безопасны в работе и не допускают проникновение хлора в помещение. Электрохимический способ получения гипохлорита натрия основан на получении хлора и его взаимодействии со щелочью в электролизере. При электролизе водного раствора  $\text{NaCl}$  на аноде происходит выделение газообразного

хлора, который растворяется в воде с образованием хлорноватистой  $\text{HClO}$  и соляной  $\text{HCl}$  кислоты:



На катоде происходит выделение водорода и образование гидроксида натрия, который вступает в реакцию нейтрализации с хлорноватистой кислотой, в результате чего и получается гипохлорит натрия  $\text{NaClO}$ :

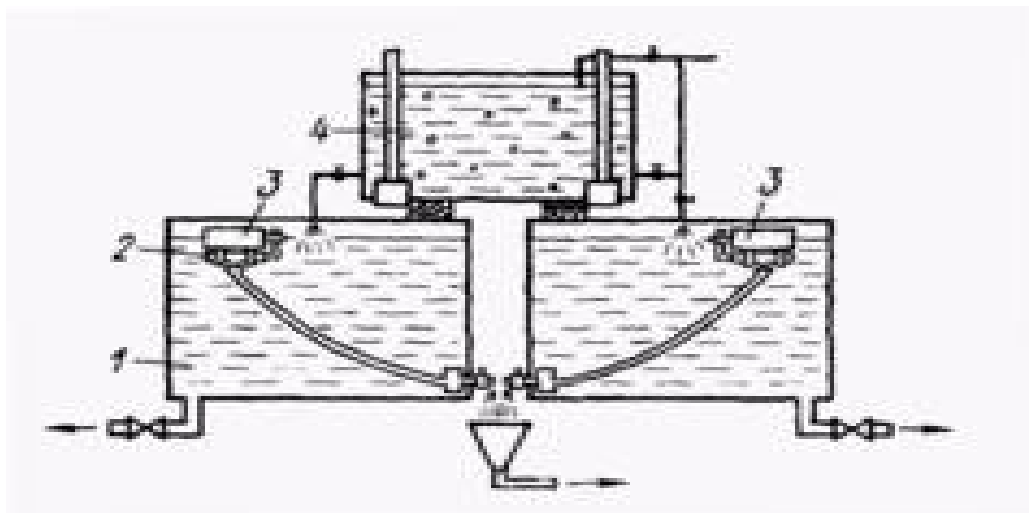
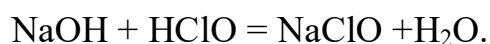


Рис. 60 Установка для обеззараживания воды хлорной известью  
1 – расходный бак, 2 – оттарированная шайба, 3 – поплавок-дозатор, 4 – растворный бак.

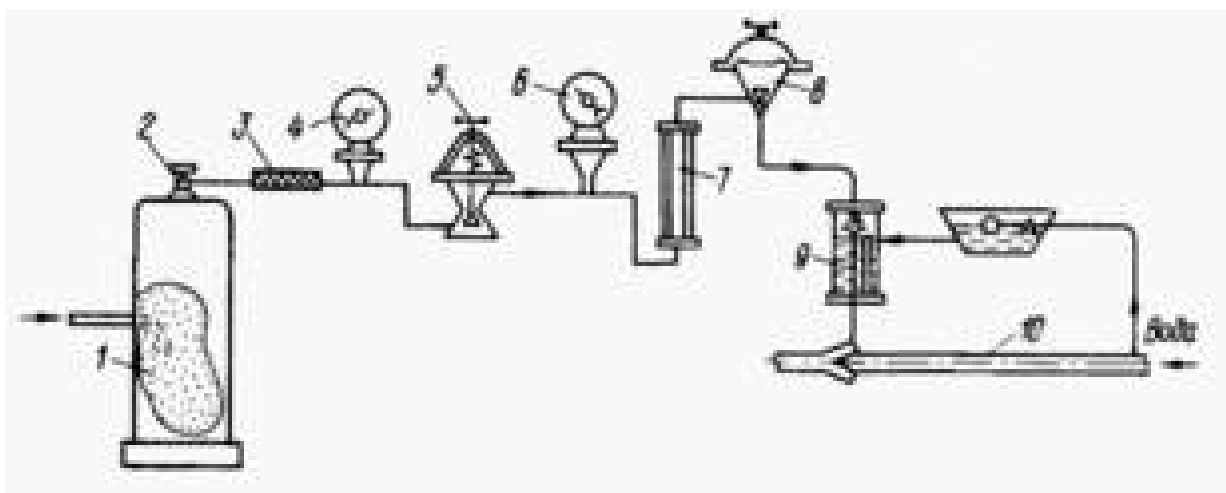


Рис. 61 Схема вакуумного хлоратора  
1 – промежуточный баллон, 2 – вентиль, 3 – фильтр, 4,6 – манометры, 5 – понижающий редуктор, 7 – измеритель расхода хлора, 8 – предохранительный клапан, 9 – смеситель, 10 –эжектор

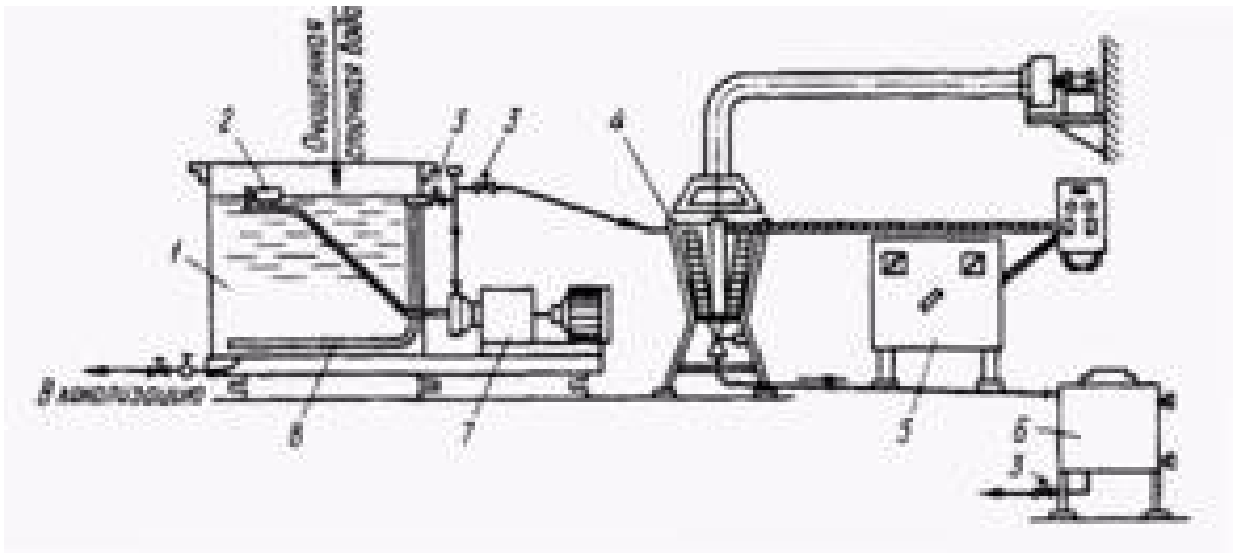


Рис. 62 Схема электролизной установки непроточного типа

1 – растворный бак соли, 2 – поплавок, 3 – вентиль, 4 – электролизер, 5 – выпрямительный агрегат, 6 – бак-накопитель гипохлорита натрия, 7 – насос, 8 – распределительная гребенка

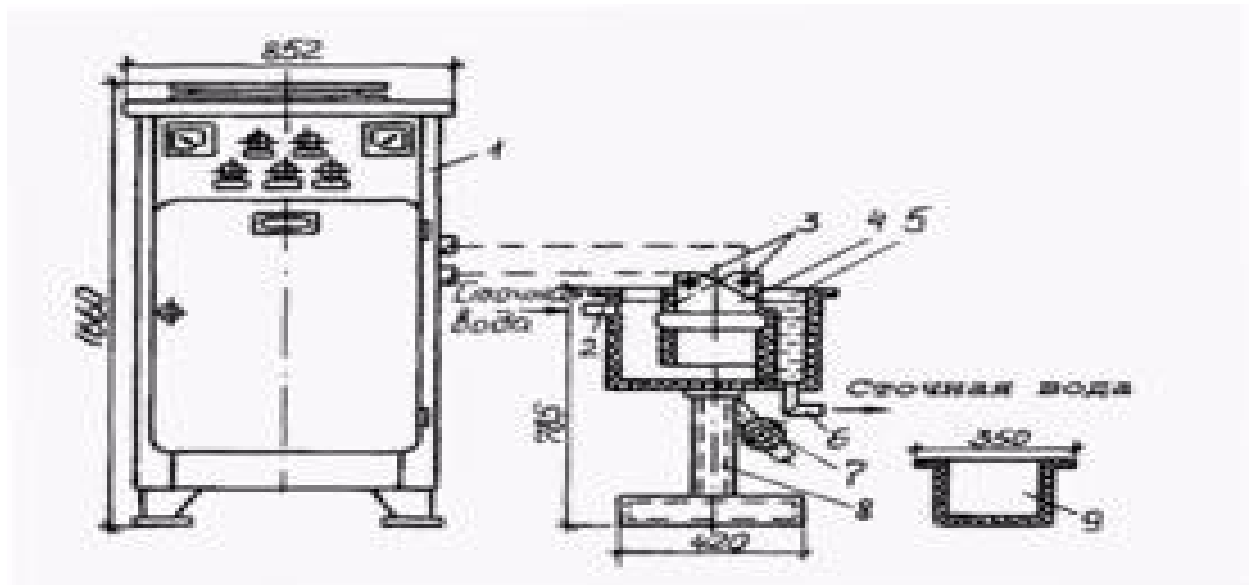


Рис. 63 Электролизная установка «Каскад»

1 – выпрямительный агрегат, 2,6 – штуцеры, 3 – токопроводы, 4 – кассета, 5 – электролитическая ванна, 7 – вентиль, 8 – рама, 9 – бак.

Для обеззараживания сточных вод по этому методу применяются непроточные электролизные установки типа ЭН-1, ЭН-5, ЭН-25 и ЭН-100 производительностью по активному хлору от 1 до 100 кг/сут рис.62.

Наиболее простыми по конструкции являются установки ЭН-1 и ЭН-5, работающие в режиме неглубокого разложения соли (до 6÷7%-го). Более экономичные электролизеры ЭН-25 и ЭН-100 работают в режиме глубокого разложения соли (10÷12%-го). Концентрация активного хлора в получаемом растворе - 14 г/л.

Для обеззараживания по методу прямого электролиза разработана и применяется электролизная установка «Каскад» рис.63 производительностью 2 ÷ 2,5 м<sup>3</sup>/ч. В этой установке применены малоизнашивающиеся и долговечные аноды ОРГА (титановая основа, покрытая солями рутения) и оксиды из титана. Обеззараживание по методу прямого электролиза целесообразно осуществлять на очистных станциях производительностью 200÷400 м<sup>3</sup>/сут.

Надежным и безвредным заменителем хлора является озон, благодаря своей высокой биоцидной и окислительной способности. Озон оказывает универсальное действие, проявляющееся в том, что одновременно с обеззараживанием воды происходит повышение прозрачности, устранение запахов и снижение цветности.

Озонаторные установки комплектуются озонаторами для синтеза озона, оборудованием для подготовки воздуха, устройствами электропитания, камерами контакта озона с обрабатываемой водой. Озон получают из обеспыленного и высушенного воздуха. Обработка сточной воды озоном производится в контактных камерах, где обеспечивается интенсивное перемешивание барботированием. Доза озона после полной биологической очистки должна быть 15÷30 мг/л, с продолжительностью контакта 20÷30 мин, после доочистки воды на микрофилтрах соответственно 6÷10 мг/л и 8÷10 мин.

При определении условий спуска сточных вод в водоем в первую очередь рассматриваются следующие возможности:

- совершенствование технологии производства, направленное на сокращение водопотребления и сброса сточных вод в водоем (вплоть до его устранения);

- использование сточных вод в системах оборотного водоснабжения, а также уменьшение степени загрязнения сточных вод;
- использование очищенных и обезвреженных городских сточных вод в технологическом водоснабжении предприятий;
- использования сточных вод данного предприятия для технического водоснабжения других предприятий;
- совместная очистка и обезвреживание сточных вод данного предприятия со сточными водами других предприятий и с городскими сточными водами;
- самостоятельная очистка и отведение сточных вод.

**Сброс сточных вод не допускается:**

- при размещении предприятия на маломощном водоеме, когда возможность разбавления в нем сточных вод и его самоочищение ограничено;
- при наличии в сточных водах высокотоксичных веществ, ПДК которых в водоеме чрезвычайно низки;
- когда на водоеме расположены другие объекты, создающие в водоеме высокий уровень загрязнения.

Показателем безопасной величины сбрасываемых стоков является предельно допустимый сброс (ПДС) -  $M_{нд}$ :

$$M_{нд} = (ПДК - C_{ф}) \cdot Q_{е}, \text{ г/час},$$

где  $Q_{е}$  – расход воды в реке,  $\text{м}^3/\text{час}$ ;  $C_{ф}$  – фоновая концентрация загрязняющих веществ в водотоке.

$M_{нд}$  - допустимая концентрация загрязняющих веществ в створе «полного смешения» находят по формуле:

$$M_{нд} = M_{нд} / Q_{ст}$$

где  $Q_{ст}$  – расход сточных вод.

Температура при спуске сточных вод летом не должна повышаться более чем на  $3^{\circ}\text{C}$  по сравнению со средней температурой воды самого жаркого месяца года за последние 10 лет.

## **ЛЕКЦИЯ 10**

### **Структура государственного экологического мониторинга**

В 1993 году было принято решение о создании Единой государственной системы экологического мониторинга (ЕГСЭМ), которая должна объединить возможности и усилия многочисленных служб для решения задач комплексного наблюдения, оценки и прогноза состояния среды в Российской Федерации. Цель мониторинга – автоматизированный контроль окружающей природной среды в пространстве и времени в соответствии с заданной программой.

Главная задача – обеспечение органов государственного управления и природопользователей информацией об экологической обстановке в различных регионах страны, информационная поддержка процедур принятия решений в области природоохранной деятельности и экологической безопасности. Виды мониторинга: биоэкологический, геоэкологический, биосферный, геофизический, климатический, биологический.

В соответствии с нормативными правовыми документами общее руководство созданием и функционированием ЕГСЭМ и координация деятельности государственных органов исполнительной власти в области мониторинга окружающей природной среды возложены на Министерство природных ресурсов РФ.

Основные положения и цели программы ГСМОС были сформулированы в 1974 году на Первом межправительственном совещании по мониторингу. Первоочередной задачей была признана организация мониторинга загрязнения окружающей природной среды и вызывающих его факторов воздействия.

Глобальная система основывается на системах национального мониторинга, которые функционируют в различных государствах согласно как международным требованиям, так и специфическим подходам, сложившимся в той или иной стране исторически или обусловленным характером экологических проблем.

Задачами программы ГСМОС (Вода) является следующее:

- мониторинг распространения и трансформации загрязняющих веществ в водной среде;
- оповещение о серьезном нарушении состояния водных объектов;
- напоминание правительствам о необходимости принятия мероприятий по охране, восстановлению и улучшению окружающей среды.

Программа ГСМОС (Вода) включает 7 основных пунктов:

- 1) создание всемирной сети станций мониторинга;
- 2) разработка единой методики отбора и анализа проб воды;
- 3) осуществление контроля за точностью данных;
- 4) использование современных систем хранения и распространения информации;
- 5) организация повышения квалификации для специалистов;
- 6) подготовка методических справочников;
- 7) обеспечение необходимым оборудованием (в отдельных случаях).

### **Государственный водный кадастр**

**Государственный водный кадастр** – это систематизированный, постоянно пополняемый свод сведений о водных объектах, составляющих единый государственный фонд водных ресурсов, о режиме, качестве и использовании вод, а также о водопользователях.

Ведение государственного водного кадастра осуществляется постоянно и по единой методике. В кадастре содержатся данные о следующих водохозяйственных объектах:

- гидроузлы и водохранилища, сооружения для забора воды из водных объектов (каналы, насосные установки, эксплуатационные скважины и др.), каналы, служащие для воднотранспортного соединения водных систем и территориального распределения стока;
- сооружения для сброса в водные объекты использованных и шахтных вод (коллекторы, дренажные и водосбросные каналы, водовыпуски и др.);
- сооружения для очистки использованных вод.

### **Виды наблюдений за качеством поверхностных вод ОГСНК**

В рамках ОГСНК проводят:

- наблюдения за уровнем загрязненности поверхностных вод по физическим, химическим, гидрологическим и гидробиологическим показателям в режимных пунктах;
- наблюдения, предназначенные для решения специальных задач.

Каждый из этих видов наблюдений осуществляется в результате:

- предварительных (рекогносцировочных) наблюдений и исследований на водных объектах или их участках;
- систематических наблюдений на водных объектах в выбранных пунктах.

### **Организация сети пунктов наблюдений за качеством поверхностных вод.**

Для проведения мониторинга вод суши организуются:

- стационарная сеть пунктов наблюдений за естественным составом и загрязнением поверхностных вод;
- специализированная сеть пунктов для решения научно-исследовательских задач;
- временная экспедиционная сеть пунктов.

В основе организации и проведения наблюдений за качеством поверхностных вод лежат следующие принципы: комплексность и систематичность наблюдений, согласованность сроков их проведения с характерными гидрологическими ситуациями, определение показателей качества воды едиными методами. Соблюдение этих принципов достигается установлением программ контроля (по физическим, химическим, гидробиологическим и гидрологическим показателям) и периодичности проведения контроля, выполнением анализа проб воды по единым или обеспечивающим требуемую точность методикам.

Сеть гидрохимических наблюдений должна охватывать в пространстве:

- по возможности все водные объекты, расположенные на территории изучаемого бассейна;



- всю длину водотока с определением влияния наиболее крупных его притоков и сброса сточных вод в него;
- всю акваторию водоема с определением влияния на него наиболее крупных притоков и сброса в него сточных вод;

во времени:

- все фазы гидрологического режима (весеннее половодье, летнюю межень, летние и осенние дождевые паводки, ледостав, зимнюю межень);
- различные по водности годы (многоводные, средние по водности и мало-водные);
- суточные изменения химического состава воды;
- катастрофические сбросы сточных вод в водные объекты.

#### **Установление местоположения створов в пунктах наблюдений**

Под **пунктом наблюдения** следует понимать место на водоеме или водотоке, в котором производят комплекс работ для получения данных о качестве воды.

Под **створом** понимают условное поперечное сечение водоема или водотока, в котором производится комплекс работ для получения данных о качестве воды. Местоположение створов устанавливают с учетом гидрометеорологических и морфологических особенностей водного объекта, расположения источников загрязнения, количества, состава и свойств сбрасываемых сточных вод, интересов водопользователей и водопотребителей.

Один створ устанавливают на водотоках при отсутствии организованного сброса сточных вод в устьях загрязненных притоков, на незагрязненных участках водотоков, на предплотинных участках рек, на замыкающих участках рек, в местах пересечения государственной границы.

Верхний (первый) фоновый створ устанавливают в 1 км выше первого источника загрязнения. Выбор створов ниже источника (или группы источников) загрязнения осуществляют с учетом комплекса условий, влияющих на характер распространения загрязняющих веществ в водотоке.

Необходимо, чтобы нижний створ характеризовал состав воды в целом по сечению, т.е. был расположен в месте достаточно полного (не менее 80%) смешения сточных вод с водой водотока. При наличии группы источников загрязнения верхний (фоновый) створ располагают выше первого источника, нижний – ниже последнего.

### **Программы наблюдений за качеством воды**

*Первая программа* предусматривает определение расхода воды (на водотоках), уровня воды (на водоемах), температуры, концентрации растворенного кислорода, удельной электропроводности, визуальные наблюдения.

*Вторая программа* предусматривает определение расхода воды (на водотоках), уровня воды (на водоемах), температуры, pH, удельной электропроводности, концентрации взвешенных веществ, ХПК, БПК<sub>5</sub>, концентрации 2–3 загрязняющих веществ, основных для воды в данном пункте контроля, визуальные наблюдения.

*Третья программа* предусматривает определение расхода воды, скорости течения (на водотоках), уровня воды (на водоемах), температуры, pH, концентрации взвешенных веществ, концентрации растворенного кислорода, БПК<sub>5</sub>, концентрации всех загрязняющих воду в данном пункте контроля веществ, визуальные наблюдения.