

Технология водоподготовки и очистки сточных вод на промышленных предприятиях

СКИФ



Кафедра «Водоснабжение и водоотведение»

Лекционный курс

Автор

Вильсон Е.В.

Аннотация

Лекционный курс предназначен для студентов очной, заочной форм обучения направления подготовки бакалавров 08.03.01 «Строительство»

Автор



Вильсон Елена Владимировна –

кандидат технических наук, доцент

Сфера научных интересов – физико-химическая очистка природных и сточных вод; биологическая очистка сточных вод.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. СОСТАВ И СВОЙСТВА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД.....	4
2. УСЛОВИЯ ВЫПУСКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД В ГОРОДСКУЮ СЕТЬ ВОДООТВЕДЕНИЯ И ВОДОЁМЫ	5
3. УСРЕДНЕНИЕ СТОЧНЫХ ВОД.....	6
4. ОТСТАИВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД.....	6
5. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ	7
6. МЕМБРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	10
7. ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ	12
8. БИОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ	13
9. ОЧИСТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОТ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА	17
10. ДЕФОСФОТИЗАЦИЯ.....	19

1. СОСТАВ И СВОЙСТВА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Характер загрязнений производственных сточных вод

Сточные воды, отводимые с территории промышленных предприятий, по своему составу могут быть разделены на три типа: - производственные сточные воды; - хозяйственно-бытовые; - поверхностный сток с промышленной площадки.

Производственные сточные воды – воды, используемые в технологическом процессе или образовавшиеся при добыче полезных ископаемых (угля, нефти, руд и т.п.) и получившие специфические загрязнения, изменившие их химический состав и (или) физические свойства.

Производственные сточные воды делят на две основные категории: незагрязненные (условно чистые) и загрязнённые. Загрязнённые производственные сточные воды промпредприятий содержат различные примеси, состав загрязнения определяется типом производства. В зависимости от доминирующего вида загрязнений, производственные сточные воды можно разделить на три группы: - загрязненные преимущественно минеральными примесями (предприятия металлургической, машиностроительной, рудно-угледобывающей промышленности; заводы по производству минеральных удобрений, кислот, строительных изделий и материалов и др.); - загрязненные преимущественно органическими примесями (предприятия мясной, рыбной, молочной, целлюлозно-бумажной, микробиологической промышленности, химические предприятия органического синтеза, заводы по производству пластмасс, каучука и др.); - загрязненные минеральными и органическими примесями примерно в равных количествах (предприятия нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, нефтехимической, текстильной, легкой, фармацевтической промышленности, заводы по производству консервов, сахара, продуктов органического синтеза, бумаги, витаминов и др.). Количество производственных сточных вод определяют по укрупненным нормам водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности. Расчетные расходы производственных сточных вод, поступающих на очистные сооружения, Q , м³/сут, : $Q = q * M$, м³/сут

Сельскохозяйственные сточные воды подразделяются на сточные воды от животноводческих комплексов и поверхностный сток с полей. *Шахтные и рудничные воды* образуются в процессе добычи и переработке полезных ископаемых.

Режим водоотведения и коэффициенты неравномерности

Для проектирования сетей водоотведения промпредприятий, необходимо знать не только суточные расходы сточных вод, но и график их поступления по часам суток. Специфика технологии некоторых производств требует учитывать изменение притока сточных вод и их концентрации не только в течение суток, но и по месяцам или сезонам. По опытным данным ВНИИ ВОДГЕО, K_c составляют: для металлургической промышленности 1 – 1,1; химической – 1,3 – 1,5; пищевой 1,5 – 2,0; целлюлозно-бумажной – 1,3 – 1,8.

Особенности канализования промышленных предприятий

При проектировании сети водоотведения промпредприятия следует учитывать: - состав и концентрации загрязнённых веществ по цехам и

предприятия в целом; - возможность совершенствования технологического процесса с целью сокращения расходов сточных вод или концентрации загрязняющих веществ; - возможность повторного использования производственных сточных вод; - возможность устройства оборотного водоснабжения; возможность использования сточных вод данного предприятия другими предприятиями; - необходимость и целесообразность извлечения ценных веществ; - возможность сброса производственных сточных вод в городской коллектор или необходимость устройства локальных очистных сооружений; - возможность совместного транспортирования хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод, незагрязненных производственных сточных вод и поверхностного стока; - необходимость разделения производственных сточных вод от различных цехов, что может быть продиктовано санитарными нормами, пожарной опасностью, взрывоопасностью, возможностью зарастания и разрушения канализационных трубопроводов и т. д. (например нельзя объединять кислые сточные воды с сульфидными, что приведет к образованию сернистого газа, при объединении кислых сточных вод с содержащими цианиды образуется синильная кислота, при объединении сульфатсодержащих сточных вод со сточными водами, содержащими карбонат кальция, образуется осадок CaSO_4 , что приводит к зарастанию труб). На рис. 1.1 приведены схемы – примеры водоотведения промышленных предприятий.

2. УСЛОВИЯ ВЫПУСКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД В ГОРОДСКУЮ СЕТЬ ВОДООТВЕДЕНИЯ И ВОДОЁМЫ

Для определения величины допустимого сброса ингредиентов в городской коллектор можно воспользоваться следующим уравнением

$$S_i = \frac{Q_{\text{зоп}}}{Q_{\text{пр}}} (S_{\text{см}} - S_{\text{быт}}) + S_{\text{быт}}, \text{ кг/сут};$$

при этом необходимая степень очистки по данному ингредиенту составит :

$$n = \frac{S_i - \text{ПДС}}{S_i},$$

Общие условия выпуска сточных вод любой категории в поверхностные водоемы (реки, озера, водохранилища, моря) определяются порядком разработки нормативов ПДС сброса вредных веществ, по методическим указаниям утвержденным министерством природных ресурсов (04.10.99 №НМ-61/4694), согласно которых нормативы ПДС устанавливаются для каждого выпуска сточных вод проектируемых (реконструируемых) и действующих предприятий-водопользователей, исходя из условий недопустимости превышения ПДК вредных веществ в контрольном створе или на участке водного объекта с учетом его целевого использования, а при превышении ПДК в контрольном створе – исходя из условия сохранения (не ухудшения) состава и свойств воды в водных объектах, сформировавшихся под влиянием природных факторов.

Расчет ведется с учетом лимитирующего показателя вредности, по формуле

$$\sum_{i=1}^n \frac{C}{\text{ПДК}} \leq 1$$

3. УСРЕДНЕНИЕ СТОЧНЫХ ВОД

Усреднители - сооружения предназначенные для выравнивания количества сточных вод и концентрации загрязняющих веществ, поступающих на очистку. Использование метода усреднения позволяет оптимизировать работу всех очистных сооружений, сократить количество применяемых реагентов при физико-химических способах очистки, снизить затраты на электроэнергию, т.е. повысить экономический эффект, а также добиться оптимального режима эксплуатации сооружений биологической очистки.

Усреднение концентраций осуществляется путем быстрого смешения сточных вод, имеющих различные концентрации i -го загрязняющего вещества. Смешение достигается в результате: механического перемешивания в ёмкостях с перемешивающим устройством; в усреднителях барботажного типа, представляющих собой открытые емкости с проложенными по дну перфорированными трубами - барботерами, по которым в усреднитель поступает воздух, выделяющийся в виде пузырьков, перемещение которых в объёме воды и приводит к перемешиванию слоев, заглубление аэрационных колон под уровень воды производят на 2 – 5 м, длина сооружения составляет, как правило, не более 24 м, ширину принимают равной 6-12 м; скорость движения воды $v_d \geq 0.4$ м/с; расход воздуха составляет 6-12 м³/м² в час.; - в многоканальных усреднителях, в которых усреднение достигается за счёт разделения потока поступающих сточных вод на отдельные струи в специально устроенных коридорах.

Тип усреднителя следует выбирать в зависимости от характера и количества нерастворимых компонентов загрязняющих веществ, находящихся во взвешенном состоянии, а также динамики поступления сточных вод. Число секций усреднителей необходимо принимать не менее двух, причем обе рабочие. Расчет объема усреднителей следует проводить согласно формулам СНиП 2.04.03-85(п.п 6.41 – 6.56).

4. ОТСТАИВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Отстойники специального назначения

К отстойникам специального назначения относят нефтеловушки, жируловители, маслоуловители, смолоотстойники. *Нефтеловушки* предназначены для удаления из сточных вод нефтепродуктов при их концентрации более 100 мг/дм³. Продолжительность пребывания сточной воды в горизонтальной нефтеловушке – 2 часа. Для удаления нефтепродуктов с поверхности отстойника и выпавших минеральных веществ применяется скребковый механизм, сгоняющий осадок в приямок, а нефтяную плёнку к щелевым трубам, находящимся на поверхности нефтеловушки. *Жируловители*. Широкое применение в практике очистки жиросодержащих сточных вод получил метод отстаивания. Этот метод чаще всего осуществляется в горизонтальных или вертикальных отстойниках, представляющих собой приямок с погружной доской на глубину 1,5 – 2 м (при общей глубине сооружения 2 – 2,5 м) и получивших название жируловители (жироловки). Всплывающая масса удаляется с помощью непрерывно или периодически действующих скребковых механизмов. Скорость потока в горизонтальных жироловках не должна превышать 0,5 мм/с, в

вертикальных - 0,3 – 0,4 мм/с. Устанавливаются жироловки при содержании жировых веществ более 100 мг/дм³.

Интенсификация процессов отстаивания

Для извлечения из производственных сточных вод грубодисперсных органических и минеральных примесей используют процеживание, отстаивание и центрифугирование. Процеживание осуществляется при подаче сточной воды на решетки, сита, волокнуловители, сетчатые контейнеры. Вид используемого оборудования зависит от состава грубодисперсных примесей и объема сточных вод. Подробно с видами оборудования для процеживания сточных вод можно ознакомиться в учебном пособии «Очистка производственных сточных вод» (С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов).

Простая аэрация, без добавления реагентов или активной биомассы способствует повышению эффекта выделения в осадок взвешенных веществ и БПК₅ на 5 – 8% соответственно при продолжительности аэрации 10-20 минут и расходе воздуха 0,5 м³ на 1 м³ сточной воды по максимальному притоку. Коагуляция и флокуляция. Коагуляция и флокуляция приводят к астабилизации загрязняющих взвешенных частиц за счет снижения значения дзета-потенциала частиц. Тип реагента определяют также методом пробной коагуляции, сравнивая полученные результаты по эффективности осветления производственных сточных вод при равных дозах коагулянта по активной части. Учитывают также стоимость реагента и его технологичность.

Биокоагуляция. Если по схеме очистки производственных сточных вод предусматриваются биологические методы, то целесообразно интенсифицировать процесс осветления сточных вод добавлением в отстойник не реагентов, а избыточного активного ила или избыточной активной биопленки. Доза вводимого активного ила может колебаться в достаточно широких пределах, согласно литературным данным она составляет не более 100 мг/дм³, количество подаваемого ила может выражаться в % от избыточной биомассы и составляет 50 – 100% избыточного ила. **Тонкослойное отстаивание** применяется в случае необходимости повысить эффективность работы существующих отстойников или оптимизировать процесс седиментации мелкодисперсной взвеси с низкой гидравлической крупностью, преимущественно небольшой плотностью твердой фазы.

5. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ

Флотация

При очистке производственных сточных вод флотацию применяют в случае, когда значение плотности дисперсионной среды и дисперсной фазы близки и нерастворимые диспергированные примеси самопроизвольно слабо выделяются из системы. Размер частиц, которые хорошо флотируют равен 0,2 - 1,5 мм.

Объем флотационной камеры W , назначается с учетом циркуляционного расхода $Q_{ц}$ и продолжительности флотации $t_{ф}$

$$W = \frac{(Q + Q_{ц}) * t_{ф}}{60 * \Theta}, \text{ м}^3,$$

$$H_{общ} = H_{ф} + 100 \text{ мм.}$$

Площадь флотационной камеры следует принимать исходя из гидравлической нагрузки $q = 6 - 10 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 поверхности камеры.

Электрофлотация и электрокоагуляция : в электрофлотационных установках обрабатываемую воду пропускают через камеру, в которой установлены электроды. Вода ионизируется с образованием ионов водорода и гидроксид-ионов: $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$. Положительно заряженные ионы водорода (более корректно говорить о ионах гидроксония) движутся к катоду. На катоде происходят процессы восстановления ионов до молекулярного газообразного водорода: К: $2\text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{H}_2 \uparrow$. На аноде протекают процессы окисления гидроксид-ионов с образованием молекулярного кислорода: А: $4\text{OH}^- - 4e \rightarrow \text{O}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$. Газообразные продукты электрохимических окислительно-восстановительных процессов на электродах поступают в объем флотационной камеры при десорбции с поверхности электродов, адсорбируются на загрязняющих веществах и флотируют их на поверхность воды, в пенный слой. Можно применять растворимые и нерастворимые электроды. При использовании растворимых электродов процесс флотации сопровождается процессом электрокоагуляции, что повышает эффект очистки, особенно при низких концентрациях флотируемых загрязняющих веществ. Для улучшения процесса в электрофлотатор можно добавлять коагулянты. Площадь поверхности 1 пластины, $f_3 = f/(n-1)$, м. Общая площадь пластин определяют по формуле

$$f = \frac{EQ}{i}, \text{ м}$$

(4.11)

Объем флотационной камеры - $W_{\text{ф}}$ и длину флотационной камеры - $L_{\text{ф}}$:
 определяют по формула $W_{\text{ф}} = Q \cdot t$, м^3 ; $L_{\text{ф}} = W / (N_{\text{ф}} \cdot A)$, м

$N_{\text{общ}} = N_{\text{ф}} + N_1 + N_2$, Влажность осадка составляет 95 – 98%.

Электрофлотационные установки применяют при небольших количествах сточных вод и технологических растворов при расходе не более 20 – 40 $\text{ м}^3/\text{ч}$ с высоким содержанием соли и низкой электропроводностью. При электрофлотации возможно применение коагулянтов и флокулянтов.

Адсорбция

Сорбционные процессы используют при глубокой очистки промышленных сточных вод, в основном от органических веществ молекулярной степени дисперсности, механически слабо извлекаемых и недостаточно окисляемых или не окисляемых при биологической очистке: фенолов, красителей, бензола, толуола, ПАВ (так БПК_п/ХПК для бензина и керосина 0,03 – 0,12, для нефти 0,04 – 0,1, для фенолов 0,5 -0,15). Ориентировочно эффективность очистки сточных вод сорбцией для различных производств следующая: нефтехимических – 92%; пищевых – 90%; текстильных – 93%; целлюлозно-бумажных – 90%. Преимущества сорбционной очистки: - возможность удаления загрязнений чрезвычайно широкой природы и практически до любой остаточной концентрации независимо от их химической устойчивости; - отсутствие вторичных загрязнений; - возможность автоматизации процесса.

Сорбционный метод применяют не только для удаления из воды органических и элементарноорганических загрязнений, но и неорганических (в основном извлечение из воды тяжелых металлов). Сорбцию тяжелых металлов целесообразно производить из низкоконцентрированных растворов.

Преимущественно в этом случае реализуется хемосорбция, то есть осуществляется химическое взаимодействие между ионами тяжелых металлов и компонентами сорбента. Наиболее эффективно из воды извлекаются тяжелые металлы в виде органокомплексов. В свободном состоянии ионы натрия, кальция, калия, а также хлориды, сульфаты, нитраты и фосфаты практически не сорбируются на активированных углях. А ионы цинка, магния, алюминия, железа, ртути, марганца, сурьмы, хрома и висмута сорбируются ГАУ в небольших количествах. Извлечение шестивалентного хрома из сточных вод текстильных предприятий возможно на углях типа БАУ и ОУ, сорбционная емкость которых в этом случае достигает 24 мг $\text{Cr}^{6+}/\text{г}$. Для извлечения Cr^{6+} из сточных вод металлообрабатывающих предприятий используется сорбент на основе бурого угля или уголь КАД молотый, сорбционная емкость которого достигает 93 и 62 мг $\text{Cr}^{6+}/\text{г}$.

В зависимости от дисперсного состава адсорбента принципиальные конструкции адсорбентов можно подразделить на следующие типы: адсорбенты – смесители (применяются для фракций сорбента 0,05 – 0,5 мм). Их эффективно используют для очистки сточных вод небольших объемов высококонцентрированных по растворенным веществам сточных вод; - адсорбенты с плотным слоем неподвижной или движущейся загрузки (применяется для фракций 0,8 – 5 мм. Они могут применяться для очистки сточных вод самого широкого спектра концентраций и химического строения извлекаемых примесей; - адсорбенты с псевдооживленной загрузкой, (применяется для фракций 0,25 – 2,5 мм), их используют в основном для очистки небольших объемов сточных вод с хорошо сорбируемыми загрязнениями. Расширение слоя осуществляется не менее чем на 50% восходящим потоком воды со скоростью 10 – 40 м/ч; - патронные адсорбенты применяются для фракций 0,02-0,1 мм используются для очистки небольших объемов низкоконцентрированных сточных вод.

Осуществление этого способа адсорбции заключается в следующем: фильтровальную колонну, представляющую собой круглый или прямоугольный в плане резервуар высотой от 1,5 до 10 метров загружают гранулированным активированным углем, сверху подают очищаемую воду со скоростью от 1 до 20 м/ч (наиболее оптимальная область скоростей фильтрации).

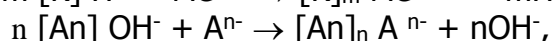
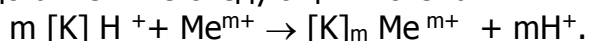
Расчет сорбционной установки приведен в соответствии с указаниями СНиП 2.04.03- 85.

$$H_{об} = H_1 + H_2 + H_3, \text{ м.}$$

Ионный обмен

С помощью этого метода производят обессоливание воды, умягчение, извлечение ионов ценных металлов, удаление из сточных вод ионов токсичных веществ. Имеется опыт по извлечению из сточных вод анилина, фенола, поверхностно-активных веществ, формальдегида и других органических веществ. Широкому распространению ионитов способствуют и неоспоримые преимущества этого метода: обеспечение высокой степени очистки воды практически от любых ионогенных соединений, простота аппаратного оформления процесса, высокая надежность, селективность.

При ионообменной очистке осуществляются химические реакции, представленные следующими схемами:



Выбор схемы ионообменной очистки сточных вод зависит от назначения установки, качественного состава и расхода исходных сточных вод. Если pH сточных вод лежит в области нейтральной или слабокислой реакции и необходимо удалить ионы 2 и 3 валентных металлов, при практическом отсутствии или малом содержании ионов щелочных металлов и ионов аммония, анионов слабых кислот (карбонатов, силикатов, боратов) или допустимости их присутствия в очищенной воде очистка производится по одноступенчатой схеме последовательным фильтрованием через сильнокислотный катионит и слабоосновный анионит.

Необходимый объем ионита W , м³, определяется по формуле

$$W = \frac{24q_r * \sum U}{E_p * n}, \text{ м}^3.$$

Площадь рабочих фильтров определяют по формуле

$$F = \frac{q_z}{v}, \text{ м}^2$$

Число рабочих фильтров каждой ступени должно быть не менее двух.

Первые порции элюатов являются наиболее концентрированными по извлекаемым компонентам, их или сбрасывают в городскую канализацию, предварительно нейтрализовав, путем смешения кислых и щелочных элюатов, (возможно также дополнительное введение соответствующих реагентов) или собирают в специальные емкости для извлечения и утилизации ценных продуктов.

Процесс регенерации осуществляют в следующей последовательности: - взрыхляют уплотненный в процессе работы ионит; - фильтруют регенерационный раствор, для катионитов таким раствором является 2 - 8 % раствор кислоты (серная или соляная) или 10 % раствор поваренной соли.

Экстракция

Жидкостную экстракцию применяют для очистки сточных вод, содержащих фенолы, масла, органические кислоты, ионы металлов. Технологически и экономически экстракция выгодна, если очистке подвергаются высококонцентрированные сточные воды и стоимость извлекаемых веществ компенсирует все затраты на ее проведение. Для каждого вещества существует концентрационный предел рентабельности извлечения его из сточных вод. В общем случае считают, что при концентрации вещества в сточной воде выше 3 – 4 г/дм³, его целесообразнее извлекать экстракцией, чем адсорбцией, а при концентрации вещества менее 1 г/дм³, экстракцию следует применять только в особых случаях. Метод экстракции основан на свойстве жидкостей ограниченно растворяться друг в друге, если одна из жидкостей является полярной, а другая неполярной.

6. МЕМБРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Обратный осмос и ультрафильтрация

Обратным осмосом и ультрафильтрацией называют процессы фильтрования растворов через полупроницаемые мембраны под давлением, превышающим осмотическое давление. Мембраны пропускают молекулы растворителя, задерживая растворенные вещества. При обратном осмосе отделяются частицы (молекулы, гидротированные ионы), размеры которых (0,0001

– 0,001 мкм) не превышают размеров молекул растворителя. При ультрафильтрации размеры задерживаемых частиц (0,001 – 0,02) на порядок больше размеров молекул растворителя. Давление, необходимое для проведения процессов обратного осмоса (6 – 10 МПа), значительно больше, чем для процесса ультрафильтрации (0,1 – 0,5 МПа).

Простейшая установка обратного осмоса состоит из насоса высокого давления и модуля (мембранного элемента), соединенных последовательно. Достоинствами метода являются: отсутствие фазовых переходов при отделении примесей, что позволяет вести процесс при небольшом расходе электроэнергии; возможность проведения процесса при комнатных температурах без применения или с применением небольших количеств реагентов; простота конструкции 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; высокая стоимость мембран; достаточно сложная технологическая схема подготовки сточной воды к процессам обратного осмоса и ультрафильтрации. Эффективность процесса зависит от свойств мембран.

Механизм обратного осмоса, состоит в том, что через поры мембраны проходит чистая вода, а проникновению ионов или молекул загрязняющих веществ препятствует имеющаяся у них гидратная оболочка, если размеры гидратированных ионов будут меньше, чем поры мембраны, то вместе с водой через мембрану будут проникать и растворенные вещества.

В процессе ультрафильтрации получают концентрат, содержащий органические вещества, а в процессе обратного осмоса – концентрат неорганических веществ и чистую воду (рис.5.4).

Электродиализ

Процесс очистки сточных вод электродиализом основан на разделении ионизированных веществ под действием электродвижущей силы, создаваемой в растворе по обе стороны мембран. Процесс проводят в электродиализаторах, простейшая конструкция которых состоит из трех камер, отделенных одна от другой мембранами. В среднюю камеру заливают загрязненные сточные воды, 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.

Обычно электродиализаторы для очистки сточных вод делают многокамерными (100 – 200 камер) с чередующимися катионо - и анионопроницаемыми мембранами, в них достигается наибольший выход по току. Электроды помещают в крайних камерах. Катоды и, особенно аноды должны изготавливаться из стойких к окислителям материалов: платины, магнетита, графита. Мембраны должны обладать малым электрическим сопротивлением. Метод электродиализа позволяет успешно удалять радиоактивные изотопы (^{137}Cs ,

^{131}I , ^{89}Sr и др.), однако эффективность изъятия изотопов ассоциированных с взвешенной фазой сточных вод резко понижается.

7. ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ

Нейтрализация

Нейтрализация - это химическая реакция между веществами, имеющими свойства кислоты с веществами, имеющими свойства основания, которая приводит к потере характерных свойств обоих веществ. При химической очистке применяются следующие виды нейтрализации: взаимная нейтрализация; нейтрализация реагентами; нейтрализация путем фильтрования вод через специальные фильтрующие материалы. *Взаимная нейтрализация (нейтрализация смешением)*. Метод взаимной нейтрализации используют в основном на предприятиях химической промышленности, где образуются одновременно и кислые и щелочные сточные воды, не загрязненные другими компонентами. Нейтрализация производственных сточных вод с использованием реагентов. Метод нейтрализации реагентами применим, если на производстве образуются только кислые или только щелочные сточные воды. Нейтрализация кислых сточных вод может быть произведена любыми щелочными реагентами (NaOH , KOH , Na_2CO_3 , NH_4OH , CaCO_3 , MgCO_3 , доломитом – $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$, цементом), но чаще всего используют известь (гашеную и негашеную), с содержанием активной части извести 5 – 10% и карбонат кальция

Количество реагента для нейтрализации (G) определяют по формуле

$$G = K \frac{100}{B} QaA, \text{ кг/сут.}$$

Нейтрализация сточных вод фильтрованием через нейтрализующие материалы. В этом случае для нейтрализации сточных вод осуществляют их фильтрование через слой специального загрузочного материала. В качестве нейтрализующих материалов применяют известняк, мел, доломит, мраморную крошку, магнезит, твердые отходы (шлак, зола).

Суточная потребность в фильтрующем материале G определяется по формуле

$$G = kaAQ, \text{ кг/сут,}$$

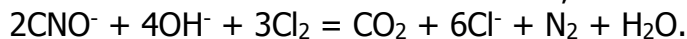
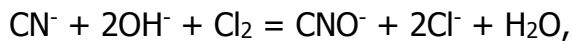
Окисление и восстановление

Деструктивный метод окисления используют для обезвреживания сточных вод, содержащих токсичные примеси, (такие как цианиды, радониды) или для дезодорации дурнопахнущих сточных вод например, сернисто-щелочных). Для очистки сточных вод используют следующие окислители: хлор, диоксид хлора, хлорат кальция, гипохлорит кальция и натрия, перманганат калия, бихромат калия, пероксид водорода, кислород воздуха, озон, пиролюзит и др. Очистка сточных вод окислителями связана с большим расходом реагентов, поэтому ее применяют только в тех случаях, когда вещества, загрязняющие сточные воды, нецелесообразно или невозможно извлечь другими способами. Введение сильных окислителей вызывает протекание окислительно-восстановительных процессов, при которых окисляемое вещество отдает электроны и является восстановителем. Активность вещества как окислителя определяется величиной его нормального окислительного потенциала. Чем выше нормальный окислительный потенциал, тем выше его окислительная способность.

Растворенный в воде хлор подвергается гидролизу:

$\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCl} + \text{HOCl} \rightleftharpoons 2\text{H}^+ + \text{Cl}^- + \text{OCl}^-$, процесс гидролиза протекает за 1 – 2 секунды. Раствор хлора в воде называют хлорной водой. Активность продуктов гидролиза определяется величиной нормального окислительно-восстановительного потенциала: $E_{\text{ме}}^0(\text{Cl}_2) = 1,36$; $E_{\text{ме}}^0(\text{HOCl}) = 1,63$; $E_{\text{ме}}^0(\text{OCl}^-) = 0,40$. Наиболее сильным окислителем является хлорноватистая кислота, высокую окислительную способность которой объясняют способностью разлагаться с выделением атомарного кислорода, который является очень сильным окислителем: $\text{HOCl} = \text{HCl} + \text{O}$. Сумма концентраций ($\text{Cl}_2 + \text{HOCl} + \text{OCl}^-$) называется свободным активным хлором. Равновесие процесса гидролиза зависит от значения pH среды.

Цианиды можно окислять до элементарного азота и диоксида углерода по уравнениям:



Во время реакции pH поддерживают в пределах 8 – 11. Контроль полноты окисления проводят по остаточному "активному" хлору, концентрация которого должна быть не менее 5 мг/дм³.

8. БИОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ

Биохимические методы очистки являются, как правило, наиболее выгодными экономически. Биоразлагаемость веществ характеризуется величиной биохимического показателя, который представляет собой соотношение БПК_{полн} / ХПК. По биохимическому показателю, концентрации загрязнений и токсичности промышленные сточные воды делят на четыре группы. Первая группа имеет биохимический показатель выше 0,2. К этой группе относятся сточные воды пищевой промышленности (мясной и молочной промышленности, дрожжевых, пивоваренных, сахарных, крахмальных заводов), прямой перегонки нефти, синтетических жирных кислот, белково-витаминных концентратов и др. Органические загрязнения этой группы не токсичны для бактерий. Вторая группа имеет показатель в пределах 0,1 – 0,2. В эту группу входят сточные воды коксования, азототуковых, коксохимических, газосланцевых, содовых заводов. Эти воды после механической очистки могут быть направлены на биохимическое окисление. Третья группа имеет показатель 0,1 – 0,001. К ней относятся сточные воды процессов сульфирования, хлорирования, производства масел и ПАВ, сернокислых заводов, предприятий черной металлургии, тяжелого машиностроения и др. Эти воды после локальной механической и физико-химической очистки могут быть направлены на биохимическое окисление совместно с бытовыми сточными водами. Четвертая группа имеет показатель ниже 0,001. Сточные воды этой группы в основном содержат минеральные взвешенные частицы. К этим водам относятся сочные воды угле- и рудообогатительных фабрик и др. Для них используют механические методы очистки.

Биологическая очистка в естественных условиях

Поля орошения и поля фильтрации. СанПиН 2.1.7.573 – 96 регламентирует гигиенические требования к сточным водам, подаваемым на поля орошения и поля фильтрации. Согласно п. 5.2 СанПиН запрещается использовать на полях орошения сточные воды отдельно стоящих предприятий по обработке сырья

животного происхождения: боен, биофабрик (производство сывороток, вакцин), лечебных и лечебно-профилактических учреждений, предприятий по производству пестицидов, сточных вод содержащих радионуклиды и тяжёлые металлы. Согласно п.5.4.СанПиН качество сточных вод подаваемых на поля орошения регламентируется по химическим, бактериологическим и паразитологическим показателям. Концентрация тяжёлых металлов допустимая для орошения рассчитывается в каждом конкретном случае в зависимости от норм орошения и способности данной культуры поглощать тяжелые металлы. На полях орошения допускается выращивать зерновые, технические кормовые культуры и древесно-кустарниковые насаждения: ягодные, овощные, бахчевые, силосные запрещается.

Площадь полей фильтрации (орошения) определяют согласно уравнению

$$W = (1,25 - 1,35)(W_{ан} + W_P), \text{ м}^2,$$

Биологические пруды. Биологические пруды представляют собой искусственные водоёмы, которые применяются как самостоятельные сооружения биологической очистки, или для глубокой очистки сточных вод после сооружений биологической очистки. Биологические пруды могут работать при естественной или искусственной аэрации.

Анаэробные биопруды представляют собой высоконагружаемые системы, в которых может быть снято до 80% поступающих загрязнений по БПК_{полн}. При глубине 2,5 – 3,0 м нагрузки по БПК₅ в зависимости от вида от продукта переработки колеблется от 130 г/м³ (сточные воды от мясоперерабатывающих предприятий, молочных) до 600 г/м³ (сточные воды овощных предприятий). Эффект очистки составляет от 47% до 92%. В анаэробные биопруды подают сточные воды с концентрацией органических веществ в широком диапазоне от 1000 до 10000 мг О₂/дм³. В анаэробных прудах на каждые 0,453 кг взвешенных веществ образуется 0,26 м³ газов.

Аэробные пруды. Аэрация прудов осуществляется естественным путем, поэтому для оптимизации окислительных процессов этот тип прудов устраивают малой глубины 0,5 – 1,2 м. Очистка сточных вод протекает достаточно интенсивно, однако БПК подаваемых сточных вод не должна превышать 200 – 250 мг/дм³.

Аэрируемые пруды – это глубокие пруды с искусственной аэрацией. Максимальная глубина, при любых аэрирующих устройствах – 6 м. Максимальная нагрузка на аэрируемые пруды по БПК₅ : 10 –12 г/м³ в сутки.. Продолжительность пребывания сточных вод в биопрудах 3 – 5 суток. Среднегодовой эффект очистки по БПК_{полн} – 75%.

Биологическая очистка в искусственных условиях

Биологическая очистка производственных сточных вод в искусственных условиях может осуществляться в аэробных и анаэробных условиях.

Биодеградация в анаэробных условиях

Сравнение анаэробных и аэробных методов очистки сточных вод

Аэробный метод очистки	Анаэробный метод очистки
Область и условия применения	
В основном после предварительного осветления (ограничение по взвешенным веществам)	Можно применять без предварительного осветления
Может применяться при невысоких концентрациях органических веществ (БПК _{полн} до 1000 мг/дм ³)	Может применяться только при высоких концентрациях органических веществ (БПК _{полн} более 2000 мг/дм ³)
Температура воды может быть относительно низкая (более 12 ⁰ С)	Температура воды должна быть относительно высокая (более 25 ⁰ С)
Поступление некоторых токсичных веществ допускается	Поступление токсичных веществ запрещено
Требуется предварительная нейтрализация щелочных сточных вод	Щелочные сточные воды обрабатываются без предварительной нейтрализации
Особенности эксплуатации	
Непрерывная подача сточных вод на очистные сооружения	Могут существовать значительное время без поступления «свежих» сточных вод
При жестких требованиях к качеству очищенных сточных вод может быть использовано несколько ступеней для получения требуемых значений ПДС	При жестких требованиях к качеству очищенных сточных вод необходимо использовать аэробную ступень доочистки для получения требуемых значений ПДС
Продолжение таблицы 7.3	
Возможно интегрированное снижение содержания в сточной воде азота и фосфора	Не наблюдается значительного снижения азота и фосфора
Образуется большое количество избыточного активного ила	Образуется очень мало избыточного активного ила
Есть опасность засорения носителей биомассы	Нет опасности засорения носителей биомассы
Высокая трудоемкость в обслуживании систем аэрации	Практически не требуют технического обслуживания
Небольшие инвестиционные затраты	Часто значительные инвестиционные затраты
Высокие эксплуатационные издержки	Высокие эксплуатационные издержки
Необходимость в аэрации иловой смеси, высокая потребность в электроэнергии	Небольшая потребность в электроэнергии
Значительные проблемы утилизации активного ила (большие объемы)	Незначительные проблемы утилизации избыточной биомассы (малые объемы), получение энергетически ценного биогаза.
Не рентабельно при больших размерах сооружений	Рентабельно при относительно больших размерах сооружений.

UASB-реактор. (Upflow anaerobic sludge blanket reactor), т.е. *реактор с восходящим потоком сточной воды через слой анаэробного ила.* Удержание ила в этом реакторе производится за счет двух факторов: высокой седиментационной способности гранул ила и применения специально встроенного газоилоотделительного устройства, расположенного в верхней части реактора (дополнительного отдельно стоящего отстойника не требуется).

Объем анаэробного реактора определяется исходя из продолжительности процесса сбраживания и расхода сточных вод по формуле

$$V = Qt, \text{ м}^3,$$

Продолжительность процесса биодegradации определяется самой медленной стадией метаногенеза и составом сточных вод.

$$\Theta = \mu - K_p,$$

Биодegradация в аэробных условиях

Аэротенки. Классификация аэротенков, используемых в процессах очистки производственных сточных вод следующая: по гидродинамическому режиму – аэротенки–вытеснители, аэротенки-смесители и аэротенки с рассредоточенным впуском сточной жидкости; по способу регенерирования активного ила – аэротенки с отдельной регенерацией активного ила и аэротенки без отдельной регенерации активного ила; по нагрузкам на активный ил – высоконагружаемые (аэротенки на неполную очистку), обычные и низконагружаемые (аэротенки продленной аэрации); по количеству ступеней очистки – одно-, двух- и многоступенчатые аэротенки.

Объем аэротенков определяют по среднему притоку сточной воды в течение суток, если общий коэффициент неравномерности поступления сточных вод в аэротенк не превышает 1,25; при большем коэффициенте неравномерности – по среднечасовому поступлению сточных вод в аэротенк за время аэрации в часы максимального притока. Продолжительность аэрации в аэротенках определяется согласно СНиП 2.04.03-85 по формулам 48 и 50. Дозу ила следует определять в процессе пуско-наладочных работ или по опыту работы аналогичных сооружений при очистке сточных вод близкого состава с учетом работы вторичных отстойников.

Сооружения, в которых отстойная зона блокирована с аэрационной называются аэротенки-отстойники, их целесообразно использовать для очистки концентрированных производственных сточных вод. Применение аэротенков-отстойников, позволяет не только добиваться высоких доз ила, но и повышать эффект осветления иловой смеси за счет образования взвешенного слоя ила в отстойной зоне аэротенка-отстойника. Аэротенки отстойники рекомендуется применять на станциях биологической очистки сточных вод производительностью до 50 тыс. м³/сут.

Продолжительность аэрации t определяется по формуле

$$t = \frac{L_{en} - L_{ex}}{a_i(1 - S)\rho}, \text{ ч}$$

Разновидностью аэротенков-отстойников являются **окситенки**, в которых применяют технический кислород.

В настоящее время все большее применение находят **биореакторы периодического действия – ОРБ** (однорезервуарный биореактор), предназначенные для биологической очистки сточных вод с помощью свободно плавающего активного ила. Аналогично работают и так называемые реакторы периодического действия (SBR) («Справочник по современным технологиям

очистки природных и сточных вод и оборудованию» 2001 г, создан совместным коллективом российских и датских специалистов. Каждый ОРБ работает как усреднитель, аэротенк и вторичный отстойник, т.е. нормальный процесс включает последовательность наполнения, аэрации, отстаивания и декантации

Биологические фильтры.

В обычном биофильтре могут осуществляться наряду с биодеградацией органических веществ процессы нитрификации и денитрификации.

Методы интенсификации процессов очистки в аэротенках

При очистке производственных сточных вод, характеризующихся высокими концентрациями органических веществ и отличающихся неравномерностью потребления кислорода при их очистке, в качестве 1 ступени многоступенчатых сооружений необходимо применять аэротенки-смесители. Для второй ступени, на которую подаются сточные воды, прошедшие первую ступень и отличающиеся небольшой неравномерностью скоростей потребления кислорода, следует использовать аэротенки-вытеснители. Для интенсификации процессов биоокисления органических веществ используют *ферменты*, в этом случае как правило ферменты применяются без активного ила.

Определенный интерес представляет *метод «чистых культур»* или «микробный» метод, заключающийся в том, что в производственные сточные воды, содержащие высокие концентрации специфических загрязнений вносят культуру микроорганизмов, адаптированных к данному виду субстрата. Основным недостатком этого метода является отсутствие активного ила, в результате чего микроорганизмы, производившие очистку сточных вод, поступают в водоем.

К методам интенсификации процесса очистки сточных вод можно отнести и *адсорбционно-биологическую очистку с добавкой в аэротенки активного угля (АУ)*. Этот комбинированный метод получил название биосорбция. Для биосорбции применяют ГАУ и ПАУ, активный ил и биопленку. В длительных процессах биосорбции (0,3 – 3) года достигается: либо более глубокая, чем на традиционных сооружениях БХО, очистка сточных вод, либо окисление трудноокисляемой органики, либо замена дорогостоящей термической регенерации АУ при удовлетворительном качестве воды, очищенной на сорбенте. Количество загрязнений изъятых АУ в процессе биосорбции, часто в 2 – 10 раз выше максимальной сорбционной емкости АУ в статических условиях, вне биологического процесса. В общем случае в процессе биосорбционной очистки воды можно выделить четыре основные фазы: - сорбция из раствора органических примесей; диффузия адсорбата в биопленке; окисление адсорбата; развитие биопленки.

9. ОЧИСТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОТ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА

В неочищенных сточных водах промпредприятий азот может входить в состав как органических, так и минеральных веществ. В сточных водах пищевых производств основная масса азота (60 – 70%) находится в виде азота аммонийного.

Методы удаления форм азота

Наименование метода	Удаление форм азота, %			
	Органического	Аммонийного	Нитратного	Общего
Аэрация (отдувка воздухом).	Не удаляется	60-98 (pH > 11)	Не удаляется	50-90
Хлорирование	Не удаляется	80-100	Не удаляется	80-95
Адсорбция активированным углем	50-90	Не удаляется	Не удаляется	80-95
То же с предварительным хлорированием	50-90	80-100	Не удаляется	80-95
Ионный обмен с помощью: синтетических смол цеолитов	80-95 Не значит-но	85-98 85-98	75-90% Не удаляется	70-95 80-95
Электролиз	Не значит-но	70-95	Не удаляется	80-95
Озонирование	Не значит-но	80-95	Не удаляется	80-95
Химическое восстановление	Не значит-но	-	50-90	80-95
Коагуляция	30-70	5-15(известью)	Не удаляется	20-30
Электродиализ	100	40	40	35-40
Обратный осмос	60-100	60-85	50-85	80-90
Ассимиляция водорослями	Частичная аммонификация	Частичное усвоение клетками		50-80
Ассимиляция бактериями	То же	40-70%	Лимитирующий эффект	30-70
Нитрификация	Лимитирующий эффект	Окисление до нитратов	-	- до 70
Денитрификация	-	-	80-98%	70-95
Почвенная фильтрация	Окисление до аммонийного азота	Окисление до нитратов	денитрификация	40-90
Окислительные пруды	Аммонификация	Частичная нитрификация	денитрификация	20-40%

Пост-денитрификация в системах с активным илом. В этом процессе сточные воды сначала поступают в аэротенк, где происходит снижение БПК и азота аммонийного. Затем вода поступает в резервуар, работающий в аноксичных условиях, где нитраты образовавшиеся в предыдущем сооружении, восстанавливаются в процессе денитрификации (рис. 8.2) .

Предварительная денитрификация – рециркуляционный метод. По данной технологии денитрификация происходит в первом резервуаре с аноксичными условиями, куда и подается исходная сточная вода и

возвратный ил Нитрификация происходит в следующем резервуаре, в котором поддерживаются аэробные условия.

Альтернативная нитри-денитрификация – метод Био-Денитри. При осуществлении данного метода в работе находятся два резервуара периодического действия: денитрификатор (резервуар работает в анаэробных условиях, осуществляя прием сточной воды) и нитрификатор (аэробный реактор, куда поступает сток из денитрификатора).

Денитрификация в реакторах периодического действия. При использовании реакторов SBR биоокисление и отстаивание активного ила осуществляется в одном и том же резервуаре.

10. ДЕФОСФОТИЗАЦИЯ

Глубокое удаление фосфора может быть реализовано модифицированным биологическим методом с использованием аэробных и анаэробных процессов. При такой схеме активный ил из вторичных отстойников подвергают анаэробной обработке в кислой среде в специальных емкостях, после чего возвращают в аэротенк. В этом случае ил приобретает способность повышенной аккумуляции фосфора. Однако данный метод предполагает использование серной или уксусной кислоты (в результате подкисления иловой жидкости скорость высвобождения фосфора из ила повышается), при этом происходит резкое снижение pH обработанной иловой жидкости, для восстановления оптимального для биологической очистки значения pH, иловую смесь предлагается аэрировать.

Физико-химические методы дефосфотизации основаны, на использовании реагентов (солей алюминия, железа или извести), вводимых в сооружения биологической очистки или в очищенную воду и аккумулирующих (адсорбирующих) на хлопьях образующихся продуктов гидролиза фосфаты. Эффективность изъятия фосфатов обусловлена практически только дозой вводимого реагента. Низкие дозы реагента - до 1 мг/дм³, не приводят к удалению соединений фосфора.

Предварительная коагуляция применяется при различных схемах очистки воды с целью снижения нагрузки на стадию биологической очистки. *Симультанное осаждение* - в этом случае удаление фосфора происходит в тех же сооружениях, что и биологическая очистка воды. Образовавшиеся после введения реагента малорастворимые фосфаты металлов входят в состав активного ила, и в дальнейшем выводятся из системы вместе с избыточным активным илом. Подача реагента чаще всего осуществляется в аэротенк.

Пост-коагуляция – для данного процесса характерна подача реагента в уже очищенную воду перед отдельно стоящим сооружением (предназначенным для выделения в осадок твердой фазы), после стадии биологической очистки воды.

Пост-коагуляция с последующим отстаиванием. Коагулянт добавляется либо в «поток» либо в смеситель. Для повышения эффективности процесса могут быть использованы и флокулянты.

1. Показатели качества вод, используемых для водоснабжения промпредприятий

Под **качеством воды** в целом понимается характеристика ее состава и свойств, определяющая ее пригодность для конкретных видов водопользования

(ГОСТ 17.1.1.01-77), при этом критерии качества представляют собой признаки, по которым производится оценка качества воды.

На промышленных предприятиях вода может расходоваться на различные цели:

- хозяйственно-питьевые цели работников предприятия;
- технологические нужды;
- пожаротушение;
- прочие (полив насаждений, проездов, теплиц и т. д.).

Водопотребление в производственных процессах подразделяется на:

- использование воды в основном производственном технологическом цикле.

В данном случае вода используется в технологических циклах, связанных с получением конечной продукции;

- использование воды в вспомогательных производственных циклах. В данном случае вода используется в технологических циклах не связанных на прямую с получением конечной продукции.

Вода, используемая на промышленных предприятиях, может быть различного качества.

Различают следующие виды воды, используемых на предприятиях:

– питьевая – предназначенная для удовлетворения хозяйственно-питьевых нужд рабочих и служащих, а также для отдельных технологических процессов, требования к качеству потребляемой воды, которых близко к требованиям качества питьевой воды;

– технологическую свежую – забираемую из природного источника и подаваемую для использования в производственных целях;

– технологическую приготовленную – получаемую из технологической свежей или питьевой с использованием различных технологических приемов водоподготовки;

– оборотную (циркуляционную) – используемую в оборотных системах водоснабжения;

– последовательно используемую – применяемую поочередно в нескольких производственных процессах без промежуточной обработки с отведением в системы канализации;

– сточную – повторно используемую воду, полученную после использования в технологических процессах или использованную на хозяйственные нужды с последующей обработкой и полным или частичным повторным использованием.

Водопотребление предприятий зависит от ряда факторов:

- характера использования воды;- объема и вида выпускаемой продукции;
- технологии производства;- типа системы промышленного водоснабжения.

Вода в производственных процессах может выполнять различные функции:

– промышленное сырье (напитки, лекарственные растворы, водные растворы химических препаратов и т. д.);

– в качестве растворителя или реакционной среды (химическая промышленность, производство крахмала, гальваника, электролитическое получение продуктов и т.д.)

– экстрагенные – для извлечения из продукта нежелательных растворимых в воде и не растворимых примесей (производство калийных удобрений и т.д.)

– в качестве среды для передачи энергии (мониторы для гидромеханической разработки грунта, гидромашин для создания вакуума, гидроэнергетика и т.д.)

- среда для отчистки газообразных продуктов и выбросов;

– в качестве транспортирующего агента;– среды для мойки оборудования, частей и т. д.- в качестве охладителя и теплоносителя.

В зависимости от вида предприятия характер преимущественного использования воды может изменяться. Например, в черной металлургии, нефтехимии до 80% объема расходуемой воды используется на охлаждение, в цветной металлургии и целлюлозно-бумажной промышленности до 70 – 90 % воды используется в качестве среды и экстрагента.

Вид выпускаемой продукции и ее объем в значительной мере определяют суммарное водопотребление промышленных предприятий. Расход воды на единицу продукции может изменяться от нескольких м³ до нескольких тысяч м³. Например при производстве 1 тонны угля расходуется 3 – 5 м³ воды, а на производство 1 тонны синтетических волокон 2500 – 5000 м³ воды.

Норма расходования воды определяется на основании расчета применительно к конкретной технологии производства. Высокие объемы водопотребления и сбросов в производстве природные водные объекты могут характеризовать не совершенство технологических процессов и схем водного хозяйства. В ряде случаев количество потребляемой воды зависит от ее качества.

Требования к качеству потребляемой воды.

Качество воды, используемой для производственных целей определяется в зависимости от:- назначения воды;- требований технологического процесса, вида используемого сырья, применяемого оборудования и качества получаемого готового продукта. При нормировании качества потребляемой в производственных процессах воды основными являются два условия;1) качество воды не должно нарушать технологического процесса производства.2) используемая вода не должна нарушать санитарно-технического состояния рабочих мест. В соответствии с приведенными условиями и формируются определенные требования к качеству воды. Например:1) безвредность для обслуживающего персонала;2) отсутствие коррозирующего воздействия на элементы производственного оборудования;

3) отсутствие отложений на элементах оборудования;4) отсутствие негативного влияния на качество выпускаемой продукции. Требования к качеству воды, используемой в производственных целях, определяется в большей части случаев характером используемых технологических процессов.

Например, в пищевой промышленности требования к используемой воде в значительной мере аналогичны требованиям к питьевой воде.

В теплоэнергетике используемая вода не должна содержать соли жесткости и кислород. Требования по жесткости устанавливаются и для воды, используемой для охлаждения оборудования и продуктов в теплообменных аппаратах.

Наиболее жесткие требования к воде, используемой в фармацевтической промышленности. На предприятиях такого профиля используется вода обессоленная, вода дистиллированная и бидистиллированная.

Системы водоснабжения на предприятиях.

В зависимости от краткости использования воды системы водоснабжения на предприятиях подразделяются на:

- 1) Прямоточные;2) С повторным использованием воды;3) Обратные;

4) Комбинированные.1- водозабор, 2- производство, 3- очистные сооружения
Прямоточная система предусматривает забор всех возрастающих количеств воды по мере роста производства. В данном случае осуществляется забор свежей воды из источника водоснабжения, использование в технологическом процессе,

отведение воды в виде сточных вод либо непосредственно в водные объекты или с предварительной очисткой на очистных сооружениях.

Система повторного использования воды представляет систему водного хозяйства, в которой свежая вода, пройдя технологический цикл на одном из производств, используется в технологическом процессе другого производства.

Для применения такой системы необходимо, чтобы качество воды после использования в первом технологическом процессе удовлетворяло требованиям второго технологического процесса. Применение такой системы позволяет сократить расход свежей воды.

Такая система может рассматриваться как усовершенствованная прямоточная система, в случае, когда источник не может полностью обеспечить требуемый расход воды.

Оборотная система водоснабжения. В оборотной системе вода после использования в технологическом процессе не сбрасывается в систему водоотведения и далее в природные водные объекты, а подвергается обработке, и опять возвращаются на предприятие.

1- водозабор, 2- насосная станция 1 подъема, 3- система обработки оборотной воды, 4- насосная станция оборотной системы, 5-технологический процесс, 6- очистные сооружения, 7- сборный резервуар.

Для компенсации потерь воды в оборотных системах, связанных с испарением, фильтрацией и т. д., осуществляется ее подпитка свежей водой из источников водоснабжения.

Оборотные системы подразделяются на:1) локальные;2) централизованные; 3) смешанные.

В локальных оборотных системах вода используется для обеспечения одного или нескольких технологических процессов. Обработка воды в данном случае производится отдельно по каждой из систем. И система водоснабжения может представлять комплекс локальных оборотных систем.

В централизованных системах вода после использования в различных технологических процессах возвращается на общие сооружения по обработке воды и далее вновь возвращается в производство.

В смешанной системе оборотного водоснабжения вода из одной оборотной системы используется в другой оборотной системе. Например, из охлаждающей системы вода поступает в экстрагенную, из экстрагенной в транспортирующую.

Если оборотная система работает без какого-либо сброса сточных вод в природные водные объекты, то она является замкнутой. При создании замкнутых систем используются следующие принципы:

- водоснабжение и водоотведение и системы очистки вод должны представлять единый комплекс;- в водоснабжении вместо забора свежей воды используются очищенные производственные и хозяйственно-фекальные воды, а также поверхностный сток;- очистка производственных сточных вод, должна сводиться к регенерации отработанных технологических растворов с целью повторного их использования в производстве;- методы, применяемые для восстановления потребительских качеств воды и технологических растворов, должны обеспечивать извлечение ценных компонентов при обоснованных затратах. Эффективность использования воды промышленными предприятиями может быть оценена коэффициентом использования оборотной воды.

$$K_{об} = Q_{об} / (Q_{об} + Q_{св})$$

Рациональность использования воды, забираемой из водного источника, может характеризоваться коэффициентом использования воды:

$$K_{об} = (Q_{св} - Q_{сб}) / Q_{св}$$

где $Q_{об}$ - количество (расход) оборотной воды, $m^3/ч$; $Q_{св}$ - количество свежей воды, забираемой из источника, $m^3/ч$; $Q_{сб}$ - количество сточных вод, сбрасываемых в природный объект, $m^3/ч$.

Для замкнутых систем водного хозяйства $K_{св} = 1$, а для $K_{об}$, $K_{св} < 1$.

Схемы водоснабжения.

Под схемой водоснабжения промпредприятия называют взаимное расположение и систему взаимных связей между элементами системы водоснабжения.

На промышленных предприятиях могут устраиваться водопроводы следующего назначения:

- хозяйственно-питьевые; - производственные; - противопожарные.

Если водораспределительные сети приведенных водопроводов устраиваются раздельно, то такие водопроводы называются отдельными или раздельными.

Если несколько водопроводов или все устраивают с подачей воды по единым распределительным сети, то такие водопроводы называются объединенными.

Хозяйственно-питьевой водопровод может быть объединен с производственным, если требования к качеству воды для целей производства такие как и для хозяйственно-питьевого водопровода.

В ряде случаев объединенными выполняют производственный и противопожарный водопровод.

Если на предприятии выполняется только одна водораспределительная сеть, то водопроводы производственный, хозяйственно-питьевой и противопожарный выполняются объединенными.

По способу создания напора в системе для тушения пожара противопожарные водопроводы подразделяются:

- постоянно высокого давления; - высокого давления, создаваемого только во время пожара; - низкого давления.

В противопожарном водопроводе постоянно высокого давления в любой точке сети, постоянно поддерживается давление, достаточное для тушения пожара непосредственно от гидрантов.

В противопожарном водопроводе высокого давления, создаваемого только во время тушения пожара, давление достаточное для тушения пожара в любой точке водопроводной сети непосредственно от сети, создается включением специальных пожарных насосов.

В противопожарных водопроводах низкого давления, напор необходимый для тушения пожара, создается передвижными пожарными насосами, подключенными к гидрантам водопроводной сети.

Если предприятие расположено в черте города или вблизи, то источником хозяйственно-питьевого водоснабжения (а в ряде случаев и производственного и противопожарного) может служить городской водопровод.

Присоединение водопровода предприятия к городскому водопроводу может осуществляться по различным схемам. В случае если напор и расчетные расходы воды в городской сети достаточны для обеспечения водой системы водоснабжения предприятия, то строится только внутриводопроводная сеть.

Если же напор в городской сети недостаточен, присоединение может осуществляться по схеме а и б. В данном случае сооружаются насосные станции с водонапорной башней или насосная станция с регулирующей емкостью. В случае если расход воды не может быть обеспечен городским водопроводом, устраивается запасная емкость и насосная станция. В запасной емкости

аккумулируется запас воды, требующийся для функционирования водопровода предприятия.

Требования к качеству воды в системах производственного водоснабжения и методы его обеспечения

Качество воды, используемой на производстве, устанавливается в зависимости от назначения воды и требований технологического процесса с учетом перерабатываемого сырья, применяемого оборудования и готового продукта производства. Вода должна быть безвредна для здоровья человека при возможном контакте с ней и не должна обладать отрицательными органолептическими свойствами при открытой системе водоснабжения. Например требования к качеству воды, используемой в системах оборотного водоснабжения промышленных предприятий. Эти требования имеют условный характер, так как они в значительной степени

зависят от типа теплообменного оборудования, температуры воды, температуры охлаждаемого продукта или оборудования, характера взвешенных и растворенных веществ и др. Для определения требований к качеству добавочной воды величины, указанные в табл. 1.56, можно разделить на коэффициент концентрирования (упаривания) при условии, что компоненты загрязнений не летучи и не выпадают в осадок. Вода I категории, используемая для охлаждения оборудования и технологических продуктов в теплообменных аппаратах (через стенку). Температура °С В зависимости от технологического процесса Взвешенные вещества* мг/л до 50 до 20 при гравитации до 10000, при флотации до 200 Эфирорастворимые мг/л до 20 до 10 не нормируются Запах балл до 3 до 3 до 3 до 4 рН – 6,5-8,5 6,5-8,5 не нормируется 6,5-9 Жесткость карбонатная мг-экв/л до 3,5 до 2,5 не нормируется. Щелочность общая мг-экв/л не более 4 не более 3 не нормируется. Общее солесодержание** мг/л до 2000 до 800 не нормируются Cl– мг/л до 350 до 150 не нормируются SO₄– мг/л до 500 до 250 не нормируются

Feобщ*** мг/л 1-4 0,5-1 не нормируются. Окисляемость перманганатная мгО/л до 20 до 20. ХПК мгО/л до 200 – не нормируются. БПК₅ мгО₂/л 15-20 – не нормируются. Биогенные элементы в добавочной воде: – азот общий мг/л 150 150 не нормируются – фосфор (впересчете на P₂O₅) мг/л 5 – не нормируются. Используемая для охлаждения жидких и конденсации газообразных продуктов в теплообменных аппаратах и для охлаждения оборудования вода не должна создавать механических и солевых отложений, коррозии металла и биологических обрастаний теплообменного оборудования; не должна разрушать конструктивные материалы сооружений систем водоснабжения.

Механические отложения.

Основным источником загрязнения воды грубодисперсными примесями, которые образуют так называемые механические отложения, является вода, добавляемая в системы оборотного водоснабжения для восполнения потерь воды, за счет уноса в виде капель из охладителей, испарения в охладителях, продувки и неизбежных утечек воды из

системы в грунт. Другим источником загрязнения оборотной воды механическими примесями является атмосферный воздух. Обратная вода при прохождении через градирни вымывает из воздуха в среднем 80% взвешенных веществ в виде пыли и песка минерального и органического происхождения. Если

предположить, что запыленность воздуха составляет 1,0 мг/м³, то при добавлении воды в систему в размере 2% расхода оборотной воды концентрация загрязнений в оборотной воде в расчете на добавочную воду может составлять 40-50 мг/л.

Механические грубодисперсные примеси, попадающие в систему оборотного водоснабжения с добавочной водой и вымываемые из воздуха, в зависимости от их гидравлической крупности и скорости движения воды могут циркулировать в системе и частично осаждаться в резервуаре градирен или в теплообменных аппаратах. При осаждении этих примесей в теплообменных аппаратах общие коэффициенты теплопередачи этих аппаратов могут значительно понижаться. Для удаления грубодисперсных примесей из добавочной воды, как правило, применяют отстойники или осветлители и фильтры с песчаной загрузкой. При отстаивании или фильтровании в воду могут добавляться коагулянты и флокулянты. Иногда для вывода из оборотной системы взвешенных грубодисперсных примесей применяют осветление части оборотной воды на байпасе с помощью сетчатых или безздвижных напорных песчаных фильтров. На осветление в таких случаях подается часть оборотной воды – 5-15%. Практика работы систем оборотного водоснабжения показывает, что наличие в воде грубодисперсных примесей даже в больших концентрациях не всегда ухудшает работу теплообменных аппаратов. Например, в системах, подверженных биологическим обрастаниям, грубодисперсные примеси благодаря их абразивному действию иногда улучшают работу этих сооружений. При скоростях движения воды в теплообменных аппаратах, превышающих 1,5 м/с, может оказаться, что наличие достаточно высоких концентраций грубодисперсных примесей не влияет на работу теплообменных аппаратов. Поэтому вопрос о необходимости строительства специальных сооружений для вывода грубодисперсных механических примесей из охлаждающих открытых систем оборотного водоснабжения должен решаться в каждом конкретном случае на основании анализа всех факторов и, если возможно, с учетом практики эксплуатации систем, работающих в аналогичных условиях.

Солевые отложения.

Солевые отложения, особенно отложения карбоната кальция, относятся к наиболее часто встречающимся в охлаждающих системах оборотного водоснабжения. Соли, присутствующие в оборотной воде, подразделяются на хорошо растворимые соли, не выпадающие в осадок и не создающие отложений, и на соли, которые из-за недостаточной растворимости или вследствие физико-химических процессов, происходящих в охлаждающих системах оборотного водоснабжения, могут выпадать в осадок и создавать отложения. Основными ионами, которые могут приводить к отложениям минеральных солей, являются:

– анионы – бикарбонаты, карбонаты, гидроокиси, фосфаты, сульфаты, силикаты;

– катионы – кальций, магний, алюминий, железо, цинк.

Большинство этих ионов находится в подпиточной воде. Однако железо и в меньшей степени алюминий и цинк, из которых изготовлены конструктивные элементы сооружений, могут появляться в оборотной воде лишь в основном в результате их коррозии. Фосфаты и цинк, и изредка силикаты могут попасть в системы оборотного водоснабжения в составе ингибиторов

коррозии металлов. Карбонат кальция – наиболее часто встречающийся компонент солевых отложений в системах – выпадает на стенки труб теплообменных аппаратов в результате нарушения углекислотного равновесия.

Этот вид отложений является типичным для систем, использующих в качестве добавочной воду со значительной бикарбонатной жесткостью и щелочностью. Отложения образуются в результате распада бикарбоната при дефиците углекислоты в растворе. Соли магния встречаются реже, хотя они иногда и образуются либо в виде гидрата окиси магния (при $pH > 10$), либо (в редких случаях при большом содержании силикатов) в виде силиката магния. Сульфат кальция, если не принимать мер, ограничивающих его концентрацию до предела ниже его растворимости, также может явиться причиной отложений. Фосфаты могут образовывать нерастворимые соли со всеми перечисленными катионами, и, чтобы избежать их выпадения необходимо регулировать величину pH.

Гидроокиси металлов встречаются в отложениях редко, однако их можно найти в системах охлаждения с высокими значениями pH. Гидроокись железа образуется в результате коррозии и превращается в гидратированную окись железа или в ржавчину. На интенсивность, с которой происходит отложение солей влияет, прежде всего величина pH, концентрация ионов, температура воды и особенно температура поверхности труб, находящейся в контакте с водой, интенсивность теплообмена между водой и поверхностью контакта, состав воды, способ ее обработки, конструкция теплообменного оборудования, продолжительность пребывания воды в системе. Величина pH влияет на растворимость всех упомянутых выше солей. От величины pH зависит тенденция кальция образовывать карбонаты, характеризуемая индексом Ланжелье (табл.). Из табл. следует, что чем выше pH охлаждающей воды, тем заметнее тенденция к образованию отложений из минеральных солей. У многих выпадающих из растворов солей, особенно у карбоната кальция, растворимость снижается с увеличением температуры. При этом

температура поверхности металла (поверхности контакта воды с трубами) играет главную роль в скорости отложения.

Высокие скорости воды в трубах способствуют предотвращению отложений солей на поверхности контакта. Скорости движения воды в трубах теплообменных аппаратов не рекомендуется принимать ниже 1,0 м/с. Предотвратить отложение карбонатных солей можно различными способами, наиболее распространенными из которых являются подкисление,

рекарбонизация, фосфатирование, фосфатирование с подкислением и реагентное умягчение воды. При подкислении в результате химической реакции бикарбонатов с кислотой снижается бикарбонатная жесткость воды с образованием сульфатов (подкисление H_2SO_4) или хлоридов (подкисление HCl) кальция и магния. Они менее растворимы, чем карбонаты, и могут быть выведены из системы оборотного водоснабжения с продувкой. При обработке воды кислотой продувку системы оборотного водоснабжения допускается не предусматривать, если при заданном уносе капельной влаги из охладителей, отборах и утечках оборотной воды из системы

водоснабжения, коэффициент упаривания не достигнет величины, при которой происходит увеличение концентрации сульфата кальция сверх предела растворимости. Сульфат кальция не выпадает в системе, если произведение активных концентраций Ca^{2+} и SO_4^{2-} в оборотной воде не превышает произведения растворимости сульфата кальция, которое для воды при температуре 25-60°C. рекомендуется принимать $2,4 \cdot 10^{-5}$. В том случае, когда произведение активных концентраций ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} будет превышать $2,4 \cdot 10^{-5}$, необходимо предусматривать продувку системы оборотного водоснабжения. Метод рекарбонизации основан на растворении углекислоты для стабилизации

бикарбоната кальция. Увеличение концентрации углекислоты в оборотной воде компенсирует потерю ее в градирне и тем самым препятствует распаду бикарбонатов, сохраняет щелочность воды на прежнем уровне. Неудобство этого метода состоит в трудностях растворения необходимого количества углекислоты, особенно при высокой; бикарбонатной щелочности добавочной воды или высоких коэффициентах упаривания. При недостатке углекислоты в системе будет наблюдаться частичный распад бикарбонатов и, как следствие, накипеобразование. Предотвращение накипеобразования фосфатированием применяется давно и дает в ряде случаев хорошие результаты, особенно при умеренных температурах воды. Фосфатирование эффективно при наличии в воде даже очень малых концентраций углекислоты и малых концентраций фосфатов – примерно 1,5-2,0 мг/л и менее (в расчете на P_2O_5). Физико-химическая сущность процесса стабилизации воды фосфатами основана на «закомплексовывании» карбонатной жесткости при концентрациях фосфатов ниже стехиометрических величин. Фосфатирование выгодно отличается от подкисления и рекарбонизации еще и тем, что оно не требует точной дозировки. Передозировка кислоты и углекислоты может привести к значительной коррозии, недодозировка – к накипеобразованию. Увеличение дозы фосфатов сверх оптимальной величины не имеет таких последствий, и вместе с тем оно нецелесообразно, так как не приводит к улучшению стабилизационного эффекта.

Для фосфатирования применяют полифосфаты – гексаметафосфат или триполифосфат натрия. При определенных условиях (высокие значения pH и температуры) полифосфаты постепенно могут гидролизироваться в ортофосфаты, которые не обладают ингибирующими свойствами по отношению к накипи и могут образовать осадки из фосфата кальция. В последние годы находят применение синтетические фосфорорганические соединения – фосфонаты. Они действуют так же, как и неорганические полифосфаты, но обладают большими возможностями предотвращения накипеобразования и, что более важно, не гидролизуются. Однако при их применении следует обращать внимание на то, чтобы жесткость воды и значения pH не были велики. В таких случаях полезно оценку возможности применения фосфатов делать по индексу Ланжелье – он должен быть положительным.

Реагентное умягчение воды (декарбонизация) известью применяется гораздо реже, чем указанные выше способы предотвращения накипеобразования. Оно целесообразно в тех случаях, когда требуется одновременное снижение жесткости и щелочности воды; при этом часто главной задачей является устранение щелочности. Сущность его состоит в связывании растворенной в воде углекислоты гидроксильными ионами с образованием бикарбонатных ионов. Дальнейшее добавление извести приводит к переводу бикарбонатных ионов в карбонатные, а последние реагируют с катионами кальция, образуя карбонат кальция. При достижении предела растворимости карбонат кальция выделяется в осадок. Реагентное умягчение воды осуществляется обычно в осветлителях или в отстойниках, специально предназначенных для этой цели, с последующим пропуском воды через фильтры с зернистой загрузкой. Ускорение процесса умягчения достигается подогревом воды, добавлением избытка реагента-осадителя и созданием контакта умягченной воды с ранее образовавшимся осадком. Чрезмерный избыток извести повышает остаточную жесткость воды и одновременно приводит к увеличению гидратной щелочности.

В тех случаях, когда вода содержит кальций и магний в сочетании с анионами не только слабых, но и сильных кислот, в воду кроме извести вводится

сода для перевода в осадок кальция. Известково-содовый метод пригоден для умягчения воды с любым ионным составом.

При использовании воды в качестве добавки в оборотные системы, умягченной известью или известью с содой, необходимо предусматривать корректировку pH до 7,0-7,5 подкислением. Без корректировки вода, умягченная этими реагентами, может быть пересыщена карбонатом кальция, особенно при низких температурах, и может иметь высокую pH = 9,5-10,0. При поступлении такой воды в теплообменные аппараты может происходить выпадение карбоната кальция и образование отложений вследствие «доумягчения» воды при нагреве, так как растворимость этой соли понижается с увеличением температуры. Вода, умягченная известью или известью с содой, практически имеет остаточную жесткость 0,5-1,0 мг-экв/л.

Коррозия.

Основной причиной коррозии металлов в охлаждающей воде является наличие растворенного кислорода и углекислоты. Последняя снижает pH воды, вследствие чего происходит воздействие кислоты на металл. Другими факторами, усиливающими коррозию, являются электропроводность воды и наличие растворенных в воде таких газов, как сернистый ангидрид, аммиак, хлор и др. Эти газы могут попадать в охлаждающую воду из окружающего атмосферного воздуха в градирнях. Например, на предприятиях, использующих в топках печей тяжелое жидкое топливо, из-за выбросов в атмосферный воздух сернистого ангидрида pH воды может заметно снижаться. Утечка аммиака в охлаждающую воду в аммиачных конденсаторах приводит к растворению его в воде и как следствие к усилению коррозии. Среди других причин, усиливающих коррозию, можно назвать отложения продуктов коррозии на стенках труб, биологические обрастания, а также в некоторых случаях накипи.

Основными физическими факторами, способствующими коррозии, являются температура, контакты различных по потенциалу металлов в водной среде и твердые отложения взвешенных веществ. Твердые отложения в трубопроводах и теплообменных аппаратах образуют области, изолированные от общего потока воды, и коррозия под ними может протекать за счет разного уровня аэрирования воды в основной массе потока и в слое воды под отложениями.

В нейтральной или щелочной воде коррозия может начаться в результате разрушения защитной окисной пленки на поверхности металла и разницы потенциала между чистым металлом и пленкой. В результате произойдет электрохимическое разрушение металла. Присутствие кислорода ускоряет этот процесс, и коррозионное воздействие усиливается за счет аэрации воды на градирнях. Биологические обрастания в системах оборотного водоснабжения также могут быть причиной усиления коррозии. Микроорганизмы, вызывающие эти обрастания, попадают в систему оборотного водоснабжения с добавочной водой или из воздуха на градирнях. Углеводороды, попадающие в воду из теплообменных аппаратов в результате утечек продукта, могут служить питательной средой, усиливающей рост бактерий.

К коррозионной группе бактерий, прежде всего, относятся сульфатредуцирующие. Они восстанавливают находящиеся в воде сульфаты до сульфидов и сероводорода, особенно в таких местах, где запас кислорода в воде истощен, например, под коррозионными отложениями. Такая коррозия может быть точечного типа, причем образовавшиеся углубления в металле бывают заполнены мягкими дурнопахнущими сульфидами.

Некоторые виды бактерий окисляют нитриты и нитраты, которые иногда применяются в качестве ингибиторов коррозии. Железобактерии образуют отложения в виде окиси железа, имеющие цвет ржавчины, отложения в виде слизи или желеобразного вещества.

Предотвращение коррозии в системах оборотного водоснабжения, как правило, обеспечивается с помощью ингибиторов. Естественный процесс образования накипи на внутренних поверхностях труб до некоторой степени обеспечивает антикоррозионную защиту. Функция ингибитора состоит в образовании защитной пленки на поверхности корродирующего металла.

В качестве ингибиторов коррозии в основном применяются неорганические ингибиторы: хроматы, фосфаты и редко силикаты и нитраты.

Хорошее защитное действие от коррозии оказывают хроматы в присутствии солей металлов, например сернистого цинка и фосфатов. Применение солей цинка в концентрации 1-3 мг/л (в расчете на цинк) в смеси с хроматами даже в таких малых концентрациях, как 2-3 мг/л (в расчете на CrO_3), и с фосфатами 2-4 мг/л (в расчете на PO_4^{3-}), уже дает неплохое защитное действие. Применение малых концентраций хроматов особенно важно, поскольку для них существуют жесткие предельно допустимые концентрации для воды водоемов и для атмосферного воздуха.

При применении хроматов следует избегать присутствия в оборотной воде таких восстановителей, как двуокись серы, которая образует нерастворимые соли с хромом. Следует принимать также меры по устранению утечек в воду нефтепродуктов, так как некоторые из них могут воздействовать на шестивалентный хром как восстановители.

Биологические обрастания.

Наличие биологических обрастаний в системах оборотного водоснабжения обусловлено интенсивным ростом и развитием различных форм бактерий, грибов и водорослей, попадающих из источника водоснабжения и воздуха. Бактериальные и грибковые биологические обрастания, как правило, наблюдаются в теплообменных аппаратах, обрастания водорослями – в градирнях.

Для предупреждения развития бактериальных биологических обрастаний в теплообменных аппаратах, а также в трубопроводах рекомендуется применять хлорирование воды. Хлор вводится в оборотную воду периодически – 3-4 раза в сутки. Продолжительность хлорирования каждого периода 40-60 мин. Доза хлора должна обеспечивать содержание остаточного активного хлора в оборотной воде после наиболее удаленных теплообменных аппаратов от места ввода хлора не менее 1,0 мг/л в течение 30-40 мин.

Для удаления биологических обрастаний, а также механических отложений в закрытых теплообменных аппаратах в необходимых случаях может предусматриваться устройство для периодической гидropневматической промывки аппаратов или для промывки аппаратов водой или смесью воды с воздухом и с присадкой абразивных материалов (кварцевый песок, полиэтиленовая крошка). Гидropневматическая промывка осуществляется водой и воздухом в соотношении от 1 : 1 до 1 : 2