

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова

Л. Ф. Комарова, В. А. Сомин

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Учебник

Рекомендовано Алтайским государственным техническим университетом им. И.И. Ползунова в качестве учебника для студентов, обучающихся по направлению подготовки 18.04.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» (профиль «Инженерная экология»)

ISBN 978-5-7568-1481-1



9 785756 814811

АлГТУ

Барнаул • 2024

Об издании – [1](#), [2](#)

© Комарова Л. Ф., Сомин В.А., 2024
© Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2024

УДК 628.1(66.067)

Комарова, Л. Ф. Комплексное использование водных ресурсов : учебник / Л. Ф. Комарова, В. А. Сомин. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2024. – 119 с. – URL: http://elib.altstu.ru/uploads/open_mat/2024/Komarova_KIVR_up.pdf. – Текст: электронный.

ISBN 978-5-7568-1481-1

В учебнике рассмотрены принципы организации водного хозяйства и создания замкнутых водооборотных систем на промышленных предприятиях, схемы использования воды.

Рассмотрены методы очистки сточных вод в различных отраслях промышленности: теплоэнергетике, машиностроении, коксохимическом производстве, черной металлургии, автотранспорте. Приводятся сведения о новых технологиях и современных установках для очистки воды, реконструкции существующих сооружений, в том числе с использованием наилучших доступных технологий.

Учебник предназначен для магистрантов, обучающихся по направлению 18.04.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» (профиль «Инженерная экология»).

Рецензенты:

Романов А. Н., заведующий Лабораторией физики атмосферно-гидросферных процессов Института водных и экологических проблем СО РАН;

Куртукова Л. В., к.т.н., доцент кафедры ХТИЭ АлтГТУ

Минимальные системные требования

Yandex (20.12.1) или Google Chrome (87.0.4280.141) и т. п.
скорость подключения - не менее 5 Мб/с, Adobe Reader и т. п.

Дата подписания к использованию 1.04.2024. Объем издания – 3 Мб.

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», 656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46, <https://www.altstu.ru>.

ISBN 978-5-7568-1481-1

[вперед \(содержание\)](#)

© Комарова Л. Ф., Сомин В. А., 2024
© Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 ВОДНЫЕ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	6
1.1 Системы водоснабжения	6
1.2 Системы водоотведения	9
1.3 Схемы использования воды на предприятиях.....	13
1.4 Основные принципы создания замкнутых водооборотных систем.....	18
1.5 Системы водопотребления и водоотведения на предприятиях	22
2 ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОЕКТЫ ПО ВОДООЧИСТКЕ	28
3 МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ	31
3.1 Модернизация технологической схемы водооборота серно-кислотного цеха (СКЦ) цинкового завода	31
3.2 Технология очистки дебалансовых вод предприятий черной и цветной металлургии	36
4 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДЫ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ	43
4.1 Использование воды на ТЭЦ.....	43
4.2 Водоподготовительные установки ТЭЦ	45
4.3 Очистка сточных вод на ТЭЦ	48
5 СТОЧНЫЕ ВОДЫ КОКСОХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ	54
5.1 Коксохимическое производство: стоки, системы канализования.....	54
5.2 Очистка фенольных сточных вод химических цехов коксохимического производства	55
5.3 Механическая очистка фенольных сточных вод.....	58
5.4 Физико-химические методы очистки фенольных сточных вод.....	60

6 ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД	
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	67
6.1 Стоки предприятий машиностроения	67
6.2 Очистка сточных вод, загрязненных механическими примесями и маслами	68
6.3 Очистка химически загрязненных стоков.....	71
6.4 Очистка других видов стоков: отработавших СОЖ, шламосодержащих, поверхностных	78
7 ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД МОЙКИ	
АВТОТРАНСПОРТА.....	81
7.1 Обратное водоснабжение для моек автотранспорта....	81
7.2 Установка для очистки сточных вод от моек автомобилей.....	84
8 НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД....	87
8.1 Выбор эффективного решения по очистке сточных вод.....	87
8.2 Новая технология очистки поверхностных стоков на компактной установке	91
8.3 Локальные очистные сооружения с использованием биофильтров	94
8.4 Реконструкция Курьяновских очистных сооружений...	97
8.5 Современные биолого-химические очистные сооружения – проект внедрения НДТ	104
8.6 Реновация малых канализационных очистных сооружений (КОС)	108
8.7 Очистные сооружения ливневых стоков в г. Барнауле ...	112
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	117

ВВЕДЕНИЕ

Охрана и рациональное использование водных ресурсов является важнейшей проблемой современности. Применение воды в быту и производстве приводит к ее загрязнению и истощению природных источников. С целью сокращения поступления загрязнений антропогенного характера в биосферу, поддержания качества окружающей среды необходимо внедрение ресурсосберегающих технологий с комплексной переработкой исходного сырья и замкнутой системой водного хозяйства предприятий.

Водные системы промышленных предприятий представляют собой сложные системы, состоящие из сооружений и оборудования подачи и отведения воды. Создание и эксплуатация таких систем является актуальной задачей, при осуществлении которой должны использоваться наилучшие доступные технологии. Водоподготовку необходимо осуществлять в зависимости от назначения воды, а отработанную воду подвергать очистке до требований, предъявляемых к ней в оборотных циклах промышленных предприятий.

Применение замкнутых водооборотных систем при проектировании новых и модернизации существующих является наиболее прогрессивным и перспективным, решая одновременно проблемы водопользования и охраны окружающей среды.

1 ВОДНЫЕ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Потребление воды и отведение загрязненных вод регулируется федеральным законом «О водоснабжении и водоотведении» от 07.12.2011 г. № 416-ФЗ с нововведениями от 01.01.2013 г. Им определяются отношения в сфере водоснабжения, водоподготовки, транспортировки и подачи питьевой и технической воды централизованными и нецентрализованными системами. Системы водоснабжения и водоотведения должны удовлетворять требованиям эффективности, надежности и экономичности.

1.1 Системы водоснабжения

Системы водоснабжения представляют собой комплекс сооружений, предназначенных для снабжения потребителей водой в требуемом количестве и заданного качества. Они включают в себя устройства и сооружения для забора воды из источника, ее транспортирования, обработки, регулирования подачи и распределения между потребителями.

Все многообразие встречающихся на практике систем водоснабжения можно классифицировать по следующим основным признакам:

– *по виду использования природных источников*: водопроводы, получающие воду из поверхностных источников (реки, озера, водохранилища и т. д.), подземных (артезианские, грунтовые и т. д.) и смешанного питания;

– *по назначению*: хозяйственно-питьевые (коммунальные), производственные (различаются по отраслям промышленности), сельскохозяйственные, противопожарные и др. и могут быть как самостоятельными, так и объединенными;

– по территориальному признаку: локальные (одного объекта) и групповые (районные), обслуживающие группу объектов;

– по способу подачи воды: самотечные и напорные (с подачей воды с помощью насосов);

– по кратности использования потребляемой воды: прямоточные, последовательные, с оборотом воды.

– по видам обслуживаемых объектов: городские, поселковые, промышленные, железнодорожные и т. д.

В зависимости от назначения объекта и требований, предъявляемых к воде, а также по экономическим соображениям для всех указанных целей вода может подаваться одним водопроводом (*централизованная система*) с приемом воды из источника, ее очисткой (при необходимости), транспортированием и подачей ко всем потребителям под необходимым давлением. Обычно в городах предусматривают единый хозяйственно-противопожарный водопровод, который подает воду для хозяйственно-питьевых нужд промышленных предприятий, а иногда и технических нужд, где требуется вода питьевого качества. В остальных случаях на предприятиях целесообразно устраивать самостоятельные производственные водопроводы с подачей технической воды.

Децентрализованные (местные или локальные) системы водоснабжения обслуживают удаленных локальных потребителей, которыми могут быть группы зданий, отдельно расположенные промышленные предприятия, животноводческие фермы и комплексы и др. Основными отличительными особенностями локальных систем водоснабжения являются:

– наличие индивидуальных источников водоснабжения и весьма небольшая суточная производительность;

– незначительное насыщение оборудованием, которое преимущественно состоит из автоматизированных блоков забора, очистки и подачи воды;

– резко выраженная неравномерность водопотребления в течение суток ввиду незначительного количества потребителей. В целом для таких систем характерно отсутствие громоздких сооружений по обработке воды и хранению ее запасов.

Основными элементами систем водоснабжения являются:

– *водозаборные сооружения*, предназначенные для забора воды из природного источника;

– *водоподъемные сооружения* (насосные станции), подающие под необходимым напором воду к местам ее очистки, хранения или потребления;

– *сооружения очистки или кондиционирования* природной воды;

– *водоводы и водопроводные сети*, служащие для транспортирования и подачи воды потребителям;

– *регулирующие и запасные емкости*, предназначенные для хранения и аккумуляирования воды.

Вид водозаборного сооружения зависит от характера источника водоснабжения. Из поверхностных источников забор воды осуществляется береговыми и русловыми водозаборами различных конструкций, из подземных – водозаборными скважинами, шахтными колодцами, сооружениями для каптажа подземных вод.

Последовательность расположения отдельных объектов системы водоснабжения и их состав могут быть различными в зависимости от назначения, местных природных условий, требований водопотребителя, экономических соображений. Например, в случае соответствия качества воды в источнике требуемому очистные сооружения могут отсутствовать. Такая схема возможна, например, при использовании артезианских вод, для которых характерны высокие санитарно-гигиенические показатели.

Система водоснабжения в процессе работы должна удовлетворять *требованиям надежности и экономичности*. Под этим следует понимать подачу воды в заданных количествах,

необходимого качества и под требуемым напором с наименьшими затратами без нарушений работы систем водоснабжения.

1.2 Системы водоотведения

Водоотведение, согласно закона от 07.12.2011 г. № 416-ФЗ – это прием, транспортировка и очистка сточных вод по централизованным системам водоотведения (ЦСВ).

Водоотводящие системы (системы канализования) представляют собой комплекс инженерных сооружений для приема, транспортирования, очистки сточных вод и выпуска их в водоемы или для последующего использования в каких-либо целях. Канализационная сеть состоит из следующих *основных элементов*:

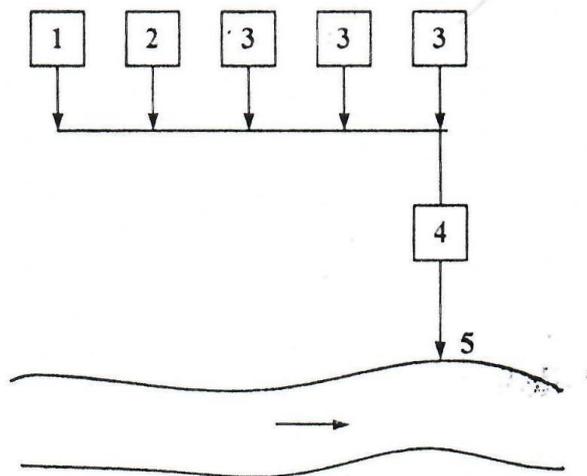
- *приемники сточных вод* (санитарные приборы, дождеприемники);
- *наружная внутриквартальная или дворовая канализационная сеть*;
 - *наружная уличная канализационная сеть*;
 - *насосные станции* и напорные водоводы;
 - *сооружения для очистки сточных вод*;
 - *устройство для выпуска воды в водоем*.

К сточным водам относятся дождевые, талые, инфильтрационные, поливомоечные, дренажные, а также стоки предприятий и хозяйственные.

В зависимости от условий поступления сточных вод в сеть и транспортирования по ней вод различных категорий принимают общесплавную, раздельную и комбинированную системы канализации.

В *общесплавной* системе сточные воды всех категорий (хозяйственно-бытовые, производственные и атмосферные) поступают в одну сеть (рисунок 1). Такие системы применяют при наличии рядом мощных проточных водоемов, обладающих

значительной самоочищающей способностью. Эксплуатация общесплавных систем значительно усложняется из-за неравномерного притока поверхностных вод.



- 1 – дождевые воды; 2 – бытовые сточные воды;
3 – производственные стоки; 4 – очистные сооружения;
5 – выпуск воды в водоем

Рисунок 1 – Общесплавная система водоотведения

Если все перечисленные воды отводят по самостоятельным сетям или устраивают две сети (бытовую и производственно-дождевую либо производственно-бытовую и дождевую), то система носит название *раздельной*.

Раздельные системы, в свою очередь, подразделяются на полные, неполные и полураздельные (рисунок 2). Если одновременно строят все указанные сети, то система называется *полной раздельной*; если строят одну из них – сеть бытовых и производственных вод, а атмосферные воды неорганизованно поступают в водоем, то система называется *неполной раздельной*. При *полураздельной* системе обязательно строят две сети: одну – для отведения бытовых и производственных вод; другую – для

атмосферных. *Комбинированная* система канализации представляет собой сочетание общесплавной и раздельной систем.

Система и схема канализации промышленного предприятия зависят от расхода и состава сточных вод, специфики предприятия, а также от геологических и других условий. Выбор рациональной схемы водоотведения промышленного предприятия является важной и ответственной задачей, ее решают с учетом местных условий, определяющих эффективность применения в санитарном и экономическом отношениях. Система должна предусматривать повторное или последовательное использование технической воды в технологических операциях с предварительной очисткой или без нее, а также оборот охлаждающей воды.

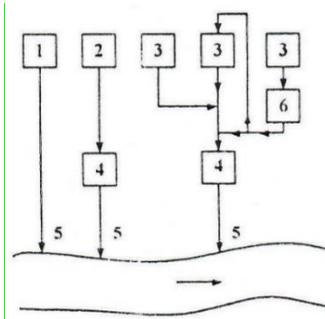
Большинство промышленных предприятий имеет самостоятельные сети производственных, бытовых и атмосферных вод, т.е. водоотведение осуществляется по полной раздельной схеме. В этом случае производственные и бытовые воды направляются в водоем или возвращаются в производство после специальной очистки.

Производственные сточные воды, в зависимости от вида загрязняющих веществ и их концентрации, а также от количества сточных вод и мест их образования, отводятся несколькими самостоятельными потоками.

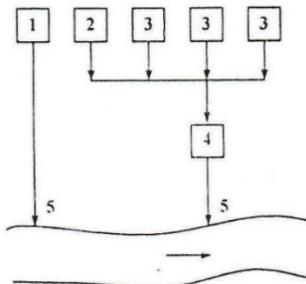
Очистные сооружения промышленных предприятий размещаются, как правило, на их территории. *При выборе системы и схемы водоотведения* предприятий необходимо учитывать:

- *требования к качеству и количеству исходной воды* для различных технологических процессов;
- *количество, состав и свойства* сточных вод и режим их отведения;
- *необходимую степень очистки* этих вод;

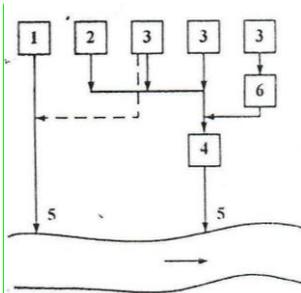
- целесообразность применения конкретного метода очистки;
- возможность сокращения сточных вод предприятия путем совершенствования технологических процессов и оборудования;
- возможность использования воздушных методов охлаждения;



а)



б)



в)

а) полная раздельная с бытовой, дождевой и производственной сетями;

б) полураздельная с дождевой и производственно-бытовой сетями;

в) неполная раздельная с производственно-дождевыми и производственно-бытовыми сетями

- 1 - поверхностные стоки;
- 2 - хозяйственные стоки;
- 3 - производственные стоки;
- 4 - очистные сооружения;
- 5 - выпуск в водоем;
- 6 - локальные очистные сооружения

Рисунок 2 – Раздельные системы водоотведения

- возможность *повторного использования* очищенных сточных вод;
- целесообразность *извлечения и использования ценных веществ*, содержащихся в сточных водах;
- *самоочищающую способность* водоема, условия спуска сточных вод в него.

Кроме того, необходимо учитывать гидрологические характеристики водоема, в который предполагается сброс очищенных сточных вод и вид водопользования.

1.3 Схемы использования воды на предприятиях

В практике использования воды в системах производственного водоснабжения нашли применение прямоточные, последовательные и оборотные схемы.

В прямоточных схемах воду после однократного использования очищают и сбрасывают в водоем (рисунок 3 а). В этом случае источник водоснабжения должен быть достаточно мощным, способным обеспечивать максимальные нагрузки потребителя и позволить сбрасывать в него очищенные стоки без нарушения экологических нормативов. Такие схемы применяются для хозяйственно-питьевого и противопожарного водоснабжения, а также в пищевой, фармацевтической и некоторых других отраслях промышленности, где не допускается повторное использование воды.

При последовательном (повторном) использовании воды: отработавшую в одном технологическом процессе воду направляют для повторного использования в другом производстве, после чего сбрасывают в водоем (рисунок 3 б). Для создания таких схем необходимо, чтобы качество воды после использования в одном процессе удовлетворяло требованиям другого технологического процесса, иначе необходима корректировка ее состава. Применение такой схемы позволяет сократить суммарный расход свежей воды.

В *оборотных системах* загрязненную воду очищают и (или) охлаждают, а затем многократно потребляют на том же объекте (рисунок 3 в).

Для водоснабжения различных категорий водопотребителей могут создаваться *комбинированные системы*, включающие вышеперечисленные.

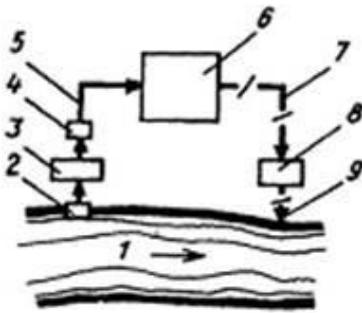
На предприятии могут создаваться локальные системы оборотного водоснабжения отдельного потребителя либо централизованные, обеспечивающие водой несколько водопотребителей. Объединение (централизация) систем водоснабжения технически возможно только при одинаковых требованиях к качеству воды. Кроме того, должна быть учтена и экономическая целесообразность создания таких систем.

В целом *выбор схемы водоснабжения* осуществляют исходя из ряда критериев:

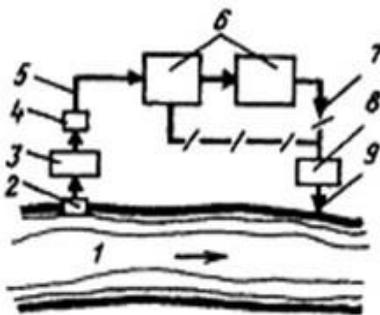
- мощности источника, его гидрологических или гидрогеологических характеристик, а также климатических условий местности;
- требований, предъявляемым к качеству потребляемой воды;
- удаленности источника от предприятия;
- характера загрязнения воды после использования и требований к выпускаемой воде.

При *прямоточном и последовательном* водоснабжении количество сточных вод ($Q_{ст}$), отводимых в водоем, определяется объемом воды, подаваемым предприятию $Q_{п}$, за исключением безвозвратного расхода и потерь ее в одном или нескольких производствах $Q_{пп}$ и при очистке $Q_{оч}$:

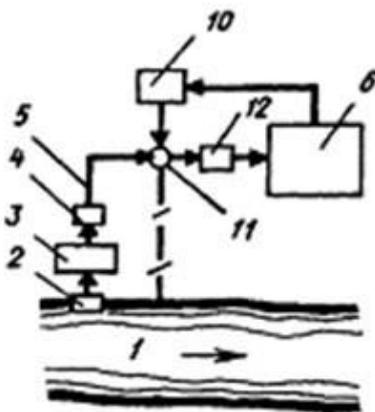
$$Q_{ст} = Q_{п} - (Q_{пп} + Q_{оч}).$$



а)



б)



в)

а – прямоточная;

б – с повторным использованием воды;

в – обратная

1 – река; 2 – водозаборное сооружение; 3 – сооружения водоподготовки; 4 – насосная станция; 5 – водовод; 6 – предприятие; 7 – сброс отработанной воды; 8 – водоочистные сооружения; 9 – сброс воды; 10 – водоохлаждающее устройство; 11 – сборник; 12 – насосная станция обратной воды

Рисунок 3 – Схемы производственного водоснабжения

Создание *оборотных систем* водоснабжения открывает большие возможности в сокращении расходов на эксплуатацию и позволяет снижать негативное влияние на водные объекты. В таких системах вода в основном нагревается, поэтому после охлаждения (или очистки) ее можно использовать повторно, что практически исключает сброс сточных вод. Тем не менее, часть воды в оборотной системе теряется с уносом, испарением, продувкой, с утечками через неплотности. Для компенсации этих потерь соответствующее количество воды забирается из природного источника.

Необходимость создания замкнутых *водооборотных систем* определяются *тремя основными факторами*:

- дефицит природной воды;
- истощение ассимилирующей способности водоема;
- экономические преимущества.

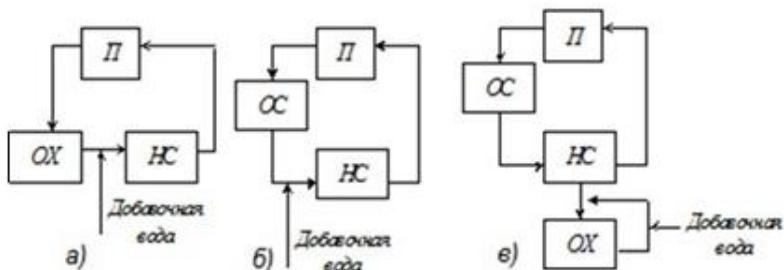
Под *замкнутой системой* водного хозяйства (ЗСВХ) предприятия понимается такая, где вода используется многократно, как правило, после соответствующей очистки и исключается образование отходов и сброс сточных вод в водоем. Замкнутые системы работают без сброса продувочной воды.

В замкнутых системах водоснабжения вместо свежей воды используют охлажденную, либо очищенную сточную воду. Свежую воду для подпитки применяют только в случае недостатка очищенных сточных вод для восполнения потерь в производстве или невозможности их использования по условиям технологии.

На промышленных предприятиях применяют три основные *схемы оборотного водоснабжения* (рисунок 4).

В *схеме с охлаждением воды* (рисунок 4а) она является теплоносителем и в процессе не загрязняется, а только нагревается; перед повторным использованием ее охлаждают. В качестве охлаждающих устройств систем оборотного водоснабжения применяют пруды-охладители, брызгальные бассейны, башенные и вентиляторные градирни. Во всех

устройствах предусматривают большую площадь охлаждения воды, за счет чего возрастает эффект охлаждения. В прудах это достигается распределением потока теплой воды по зеркалу большого водоема, в брызгальных установках – созданием мелких капель, в градирнях – с помощью оросительных устройств. Пруды-охладители и брызгальные бассейны применяются при невысоких требованиях к эффекту охлаждения воды.



а – с охлаждением воды; *б* – с очисткой воды; *в* – с очисткой и охлаждением воды

П – производство; *НС* – насосная станция; *ОХ* – охлаждение воды; *ОС* – очистка сточной воды

Рисунок 4 – Схемы оборотного водоснабжения

В схеме с очисткой (рисунок 4б) вода в производстве не нагревается, но загрязняется, потери воды $Q_{оч}$ при этом колеблются в больших пределах в зависимости от способа очистки.

В третьей схеме воду очищают и охлаждают (рисунок 4в). Для предотвращения накопления солей в оборотной воде часть ее сбрасывается в водоем (продувка или сброс $Q_{сбр}$). Во всех случаях свежая вода добавляется лишь на восполнение потерь. Количество воды, сбрасываемой в водоем, составляет (5-10) %.

Все системы, использующие воду в обороте, можно подразделить на локальные, централизованные и смешанные.

В *локальных* системах вода используется в обороте после применения ее в одном или последовательно нескольких технологических процессах. При *централизованном* водоснабжении вода после различных операций объединяется в один поток для обработки, а затем возвращается в производство. При *смешанном* водоснабжении воды одной оборотной системы используются в другой.

При создании замкнутых систем водного хозяйства на промышленных предприятиях резко уменьшается потребление свежей воды и расходы на строительство объектов водоснабжения и водоочистки, появляется возможность получения дополнительной товарной продукции, сокращения расходов сырья и вспомогательных материалов. Применение оборотного водоснабжения позволяет в 10-50 раз уменьшить потребление свежей воды.

1.4 Основные принципы создания замкнутых водооборотных систем

Замкнутые системы водопотребления (ЗСВ) – единственное рациональное решение проблемы использования воды в промышленности.

Применение замкнутых водооборотных систем при проектировании предприятий позволяет размещать эти объекты в районах с ограниченными водными ресурсами, но обладающими благоприятными экономико-географическими условиями. Такое инженерно-экологическое направление является наиболее прогрессивным и перспективным, позволяя одновременно решать проблемы водообеспечения и охраны окружающей среды.

Организация замкнутой системы целесообразна, когда затраты на очистку воды и рекуперацию веществ ниже суммарных затрат на водоподготовку и очистку сточной воды до

нормативных показателей, позволяющих сбрасывать её в водные объекты, т.е. без загрязнения последних.

Замкнутые системы водного хозяйства следует вводить на вновь строящихся, действующих и подлежащих реконструкции предприятиях. В последнем случае внедрение замкнутых систем идёт поэтапно, с постоянным увеличением оборотного водоснабжения по мере усовершенствования технологии.

В целом малоотходное производство с оборотным водоснабжением можно представить в виде схемы, изображенной на рисунке 5.

Создание замкнутых систем водного хозяйства промышленных предприятий возможно при коренном изменении существующих принципов в водоснабжении, канализации и очистке сточных вод. *К основным принципам* создания таких систем можно отнести следующие.

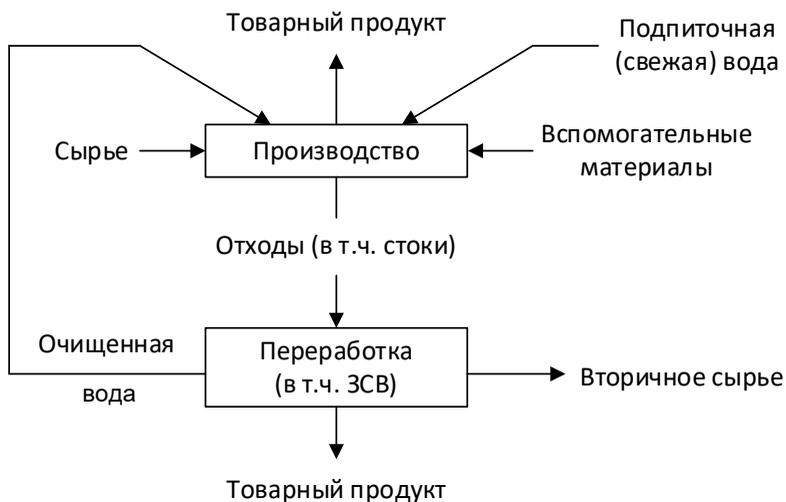


Рисунок 5 – Схема малоотходного производства товарного продукта

1. *Водоснабжение и канализация должны рассматриваться в совокупности*, когда на предприятии создаётся единая система

водного хозяйства, включающая водоснабжение, водоотведение и очистку сточных вод, для возможности их повторного использования. При этом необходимо установить научно обоснованные требования к качеству потребляемой в производстве и отводимой воды.

2. *Создание замкнутых систем водообеспечения должно сочетаться с организацией малоотходного производства, технология которого ориентирована на максимальное извлечение из сырья основных продуктов с одновременной регенерацией ценных компонентов и доведением образующихся отходов до товарного продукта или вторичного сырья при минимальных материальных и энергетических затратах.*

3. *Потоки сточных вод следует различать по видовому, фазовому, концентрационному, энтальпийному признакам для разработки соответствующих способов локальной очистки каждого из них, вплоть до потоков отдельных стадий технологического процесса.*

4. *При замкнутых системах следует объединить цехи водоподготовки и локальной очистки предприятия, а также использовать ливневой сток с промышленной площадки в системе оборотного водоснабжения. Основными для водоснабжения должны являться очищенные производственные и городские сточные воды, а также поверхностный сток. Свежая вода в производстве должна использоваться только для особых целей и восполнения воды в системах.*

5. *Регенерации должны подвергаться локальные потоки отработавших технологических растворов и сточных вод, при этом должны создаваться локальные замкнутые системы водоснабжения, которые являются основным звеном замкнутых систем водного хозяйства промышленных предприятий.*

Для достижения наилучших технико-экономических показателей при создании замкнутых систем водоснабжения на предприятиях должны прорабатываться следующие вопросы:

– максимальное *внедрение воздушного охлаждения* вместо водяного;

– *многократное (каскадное) использование воды* в технологических процессах, в т.ч. и с целью получения наименьшего объема загрязнённых сточных вод, для обезвреживания которых можно подобрать эффективные локальные методы очистки;

– *регенерация отработанных кислот, щелочей и солевых технологических растворов* с использованием извлекаемых продуктов в качестве вторичного сырья;

– *рекуперация и утилизация теплоты* технологических жидкостей и растворов путём теплообмена между их горячими и холодными потоками или получением энергетического или технологического пара;

– *внедрение стабилизационной обработки* воды (комплексоны, антискалянты), позволяющей предотвратить образование минеральных отложений и биообрастания, ингибирование процессов коррозии, обеспечение оптимального экономического режима работы за счет снижения количества подпиточных и продувочных вод.

Разработку замкнутых систем водного хозяйства промышленных предприятий желательно осуществлять *постадийно*, с постепенным увеличением доли воды, используемой в обороте. Начальным этапом в создании таких систем является определение научно-обоснованных требований к качеству воды, используемой во всех технологических процессах. В большинстве случаев нет необходимости потреблять более дорогую питьевую воду. Для обеспечения санитарно - гигиенической и токсикологической безопасности на предприятиях целесообразно проводить комплексные исследования для разработки оптимальных схем очистки оборотных вод.

Анализ существующих решений и проектных материалов показывает, что создание экономически рациональных

замкнутых систем водного хозяйства на предприятиях является достаточно трудной, но вполне разрешимой задачей. Сложный физико-химический состав сточных вод, разнообразие содержащихся в них соединений и их взаимодействие делают невозможным подбор универсальной структуры замкнутых схем. Создание таких систем на предприятиях зависит от особенностей технологии, технической оснащённости, требований к качеству получаемой продукции и используемой воды и т.д.

При создании замкнутых систем водного хозяйства проектирование систем водоснабжения и канализации промышленных предприятий должно проводиться одновременно с проектированием основного производства.

1.5 Системы водопотребления и водоотведения на предприятиях

Закон «О водоснабжении водоотведении» от 07.12.2011 г. № 416-ФЗ с нововведениями 2013-2022 гг. регулирует отношения в сфере водоснабжения, водоподготовки, транспортировки и подачи питьевой и технической воды централизованной и нецентрализованной систем.

Водопользователь в соответствии с Приказом Минприроды РФ от 08.07.2009 г. № 205 должен составить схему систем водопотребления и водоотведения. Задача этой схемы – дать информацию о размещении мест забора (изъятия) и сброса вод, их количестве и качестве, системах оборотного водоснабжения, повторного использования или передаче вод потребителям. Т.е. схема должна отражать водохозяйственную обстановку на предприятии.

Схема состоит из графической части, пояснительной записки и включает в себя:

1. Ситуационный план местности с привязкой к водозаборным и/или водосбросным сооружениям с указанием:

а) наименованием водного объекта или нескольких используемых в качестве водоисточника и для сброса вод;

б) всех мест размещения водозабора (поверхностного и подземного) и выпусков (сброса) вод.

План территории организации, эксплуатирующей водозаборные и водосбросные сооружения с указанием сетей водоснабжения, водоотведения и ливневой канализации с отметкой:

а) мест установки пронумерованных средств измерений количества забираемых и сбрасываемых вод с приложением паспортов всех приборов учета;

б) мест размещения очистных сооружений.

В пояснительной записке к схеме отражают:

1) водохозяйственный баланс намечаемого водопользования с применением отраслевых индивидуальных норм водопотребления и водоотведения (с учетом нормативов допустимого сброса);

2) иные сведения о количестве и качестве забираемых и сбрасываемых сточных или дренажных вод.

Таблица 1 – Водохозяйственный баланс намечаемого водопользования

Показатели	Водопотребление		Водоотведение			Оборотное водоснабжение	Безвозвратное водопотребление	Потери
	Водоотбор* из подземных скважин, источников, центральных сетей, предприятий	Повторное использование воды	Повторное использование воды	Выпуск № 1 (р.)	Передача сточных вод — (по договору)			
1. Производственные нужды								
2. Хозяйственно-бытовые нужды								
3. Ливневые сточные воды								
Итого по предприятию								

Примечание. *Если на предприятии используются сразу несколько типов водозабора, то можно вынести в отдельную колонку каждый из них. Формат таблицы может меняться в зависимости от производства.

Стандартной формы водохозяйственного баланса нет, существуют рекомендации по некоторым бассейновым водным управлениям.

Водохозяйственный баланс состоит из двух частей: водопотребления и водоотведения. Он соотносит расчётный объем потребления воды из всех источников и отводимых сточных вод. Как водопотребление, так и водоотведение может быть для хозяйственно-бытовых и производственных нужд. Отдельными позициями могут быть обратное водоснабжение, безвозвратное водопотребление и потери. Безвозвратное водопотребление подразумевает, например, воду, которая ушла в готовую продукцию. Потери, как правило, включают испарение воды в градирнях, унос ветром, полив зеленых насаждений, утечку в водопроводных сетях. Водохозяйственный баланс представлен в таблице 1.

В балансе должны быть учтены все нужды предприятия, а также отводимые ливневые сточные воды.

Для расчета водопотребления на производственные нужды используют нормы водопотребления и водоотведения, которые приводятся в технических регламентах или паспортах оборудования. Исходными данными для составления баланса являются:

- количество цехов и производственного оборудования;
- технические регламенты, паспорта оборудования;
- время и режим работы оборудования.

Расчет водопотребления для хозяйственно-бытовых нужд выполняется аналогично расчету потребления воды на производственные нужды, а водоотведения принимается равным водопотреблению.

Расчет ливневых стоков производят по формулам, приведенным в СП 32.13330.2012 «Канализация. Наружные сети и сооружения» в разделе 7.2 «Определение среднегодовых объемов поверхностных сточных вод».

Водохозяйственный баланс в упрощенной форме приведен на рисунке 6.

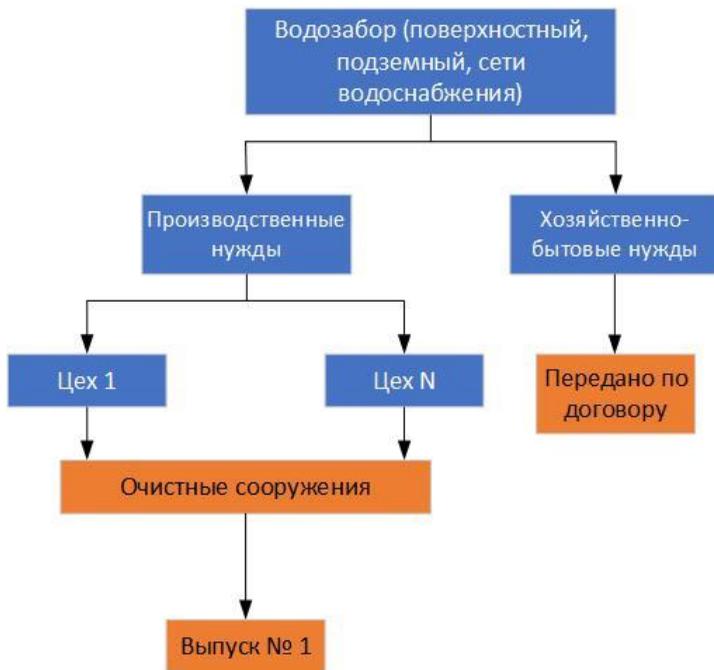


Рисунок 6 – Водохозяйственный баланс в упрощенной графической форме

Контрольные вопросы

1. Системы водоснабжения
2. Основные признаки систем водоснабжения
3. Основные элементы систем водоснабжения
4. Водоотводящие системы (системы канализования)
5. Основные элементы канализационных систем
6. Общесплавная, раздельная и комбинированная системы канализации
7. Требования при выборе системы и схемы водоотведения

8. Схемы использования воды на предприятиях
9. Факторы, определяющие необходимость создания замкнутых водооборотных систем
10. Основные схемы оборотного водоснабжения
11. Основные принципы создания замкнутых систем водопотребления (ЗСВ)
12. Вопросы, прорабатываемые при создании замкнутых систем водоснабжения в пояснительной записке и графической части
13. Водохозяйственный баланс предприятия

2 ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОЕКТЫ ПО ВОДООЧИСТКЕ

При проектировании рациональных систем водоиспользования прежде всего составляют материальный и энергетический балансы системы водопотребления и водоотведения на основе научно обоснованных требований к качеству используемой воды. Затем разрабатывают рациональную систему очистки рассчитанного по балансу количества вод с учетом повторного их использования. Водоподготовку и очистку сточных вод при этом рассматривают как единую экономически целесообразную схему, где возмещение потерь воды в оборотных системах возможно очищенной сточной водой.

Для создания рациональных систем водоиспользования необходимо разделить воды по назначению (охлаждающие, технологические, для гидротранспорта и др.), учесть возможности неводяного охлаждения, утилизации побочных энергетических ресурсов, минимизации расходов воды и т.п.

Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» определяет перечень разделов, которые разрабатываются для объектов капитального строительства.

В основе технических проектов сооружений водоочистки в качестве исходных данных используются схемы существующих и строящихся объектов, технические регламенты и документация, разработки научно-исследовательских институтов. Они выполняются в соответствии с общими требованиями проектирования, но имеют и ряд *специфических особенностей*, изложенных ниже.

1. *Характеристика предприятия*, т.е. основание для разработки проекта, объекты канализования и их месторасположение, сроки и очередность строительства, предпроектные разработки и ранее выполненные проекты.

2. *Климатические, геологические и гидрологические данные*, т.е. сведения о водотоках и водоемах, грунтах и уровне грунтовых вод на глубину 2-3 м ниже отметки оснований сооружений по трассам коллекторов, данные об агрессивности грунта и грунтовых вод, глубине промерзания почвы, продолжительности зимы и толщине снежного покрова.

3. *Химический и бактериологический анализ* воды, значение БПК, количество кислорода и взвешенных веществ в воде водоема в месте выпуска, расходы и уровни воды в различное время года и максимальный меженный ¹; данные о загрязнении береговой полосы и самого водоема от места выпуска до ближайшего крупного населенного пункта или предприятия, использующего воду для централизованного водоснабжения (но не более 20-40 км выше и ниже по водотоку), сведения о самоочищающей способности водоема и т.д.

4. *Виды и количество потребляемых и образующихся сточных вод*, содержание в них загрязняющих веществ, баланс водопотребления и водоотведения; обоснование степени очистки сточных вод для возврата их в производство и прогноз качества воды в водотоках и водоемах с учетом «Санитарных правил и норм» СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» и федерального закона «О водоснабжении и водоотведении» от 07.12.2011 г. № 416-ФЗ с нововведениями и дополнениями.

5. *Методы водоподготовки и очистки сточных вод*, состав очистных сооружений и схема их работы; описание системы и схемы проектируемых очистных сооружений и их трассировка, расположение насосных станций, очистных сооружений, шламонакопителей, мест выпуска очищенных сточных вод.

¹ Межень – сезонное стояние низких (меженных) уровней воды в реках

6. *Гидравлический расчет* и описание основных трубопроводов, коллекторов, сведения об условиях прокладки, материале труб и защите их от коррозии.

7. *Расчет очистных сооружений*, характеристика и описание работы всего узла и отдельных сооружений, данные об оборудовании сооружений, в т.ч. вспомогательных и транспортных устройств; подбор типовых или повторно применяемых проектов насосных станций. В качестве чертежей даются объемно-планировочные и строительные решения зданий и сооружений узла очистки сточных вод, горизонтальные и вертикальные планировки, транспорт, благоустройство, бытовое обслуживание.

8. *Сведения о строительных материалах* и изделиях, унифицированных конструкциях и методах их защиты от коррозии; данные об электрооборудовании, автоматизации, технологическом контроле; краткое описание новых технических решений, внедренных в проект (процессов, сооружений, конструкций).

9. *Мероприятия по охране окружающей среды*.

10. *Технико-экономическое обоснование* (расчеты) и показатели, включая и эксплуатационные; штатное расписание; сметная документация.

Контрольные вопросы

1. Требования при проектировании сооружений водоочистки
2. Химический и бактериологический анализ воды
3. Методы водоподготовки и очистки сточных вод
4. Расчет очистных сооружений

3 МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Многие водооборотные системы промышленных предприятий имеют существенный технический и моральный износ. Встает вопрос: стоит ли реанимировать имеющееся оборудование или провести полную реконструкцию технологической схемы.

Практическое использование охлаждающей воды, нагретой в тепловыделяющем оборудовании, существует в двух вариантах. В первом случае вода сбрасывается в канализацию, во втором – нагретая вода охлаждается и повторно используется в водооборотной системе. Именно второй вариант является предпочтительным, но требует совершенствования техники и технологии таких систем.

С оборотными системами обычно связаны *четыре проблемы*:

- *коррозия*;
- *накипеобразование* и отложения;
- *загрязнение* оборотной воды *солями*, продуктами коррозии, пылью;
- *микробиологическое загрязнение*.

Водоподготовка систем охлаждения и оборотного водоснабжения заключается в удалении из воды накапливающихся загрязнений различными методами.

3.1 Модернизация технологической схемы водооборота серно-кислотного цеха (СКЦ) цинкового завода

В настоящее время вода водооборотных систем, как правило, подвергается охлаждению в градирнях и подпитывается свежей водой для восполнения потерь. Принципиальная технологическая схема водооборота сернокислотного цеха (СКЦ) цинкового завода приведена на рисунке 7.

Оборотная система СКЦ предназначена для охлаждения элементов теплообменного оборудования, а также используется в технологическом процессе производства серной кислоты. *Потребителями оборотной и подпиточной воды* являются:

- *промывное* отделение СКЦ;
- *сушильно-абсорбционное* отделение;
- *контактно-компрессионное* отделение;
- *станция смешения*.

Нагретая оборотная вода со всех отделений общим потоком поступает в резервуар нагретой воды, откуда насосами подается на градирни, где происходит ее охлаждение. Далее вода по системе самотечных коллекторов поступает в резервуар охлажденной воды.

Потери воды происходят в основном на градирнях и станции смешения за счет испарения и каплеуноса. Они компенсируются за счет подпитки оборотной системы технической водой (из реки) непосредственно в резервуар охлажденной воды и в резервуар нагретой воды (через контактно-компрессионное отделение, где она охлаждает масло компрессоров).

Обследование оборотной системы цикла СКЦ позволило предложить *мероприятия* по увеличению эксплуатационной надежности, повышению производительности, улучшению качества оборотной и подпиточной воды. Среди них увеличение диаметра самотечного трубопровода от градирен до резервуара чистой воды, повышение гидравлической нагрузки на градирни, замена насосов на более производительные. Анализ качественного состава оборотной воды показал необходимость организации в оборотном цикле *узла очистки и стабилизации воды*.

Загрязнения в оборотный цикл поступают с водой из реки в виде органических и неорганических взвешенных веществ природного и техногенного происхождения. Кроме того, подпиточная вода обладает коррозионной активностью, склонностью к образованию плотных карбонатных отложений,

может заиливать проточную часть теплообменников. Другим источником загрязнения является *процесс охлаждения воды в градирне*, в результате которого в нее попадает пыль, при испарении в воде повышается концентрация загрязняющих веществ, прежде всего нелетучих солей, возрастает коррозионная активность.

Предложено в существующую технологическую схему ввести механические фильтры с зернистой загрузкой. Перед фильтрованием воду подвергать обработке флокулянтom «Праестол 650», для снижения коррозионной активности использовать комплексный ингибитор коррозии КИСК-1, для предотвращения биообрастания – комплексный ингибитор солеотложений, коррозии и биообрастаний КИСК-Б.

Технологическая схема оборотного цикла СКЦ после модернизации представлена на рисунке 8.

Вода из реки поступает в резервуар охлажденной воды, куда из узла приготовления ингибиторов в нее добавляются реагенты КИСК (концентрация 5 мг/дм³ по активной части). Только после этого оборотная вода направляется в производство потребителям и часть ее (подпиточная) на фильтрование в самопромывающиеся механические фильтры. Перед поступлением на фильтры в воду из узла приготовления флокулянта дозируется раствор «Праестол 650» с концентрацией 0,05 мг/дм³. Профильтрованная вода направляется в резервуар охлажденной воды, где смешивается с предварительно обработанной реагентами речной водой. Промывная вода фильтров спускается в промливневую канализацию (ПЛК). Часть потока охлажденной воды подвергается нейтрализации содой Na₂CO₃ и, смешиваясь с основным потоком нагретой воды с производства, идет на градирню.

Реконструкция оборотного цикла СКЦ позволяет:

- существенно уменьшить объем загрязнений в оборотной воде за счет фильтрования;
- предотвратить образование солевых отложений в трубопроводах и теплообменниках путем ингибирования (антискалантами);
- значительно снизить скорость коррозии трубопроводов и технологического оборудования в результате стабилизационной обработки воды;
- увеличить расход оборотной воды с 2500 м³/ч до 4000-4200 м³/ч.

3.2 Технология очистки дебалансовых вод предприятий черной и цветной металлургии

Дебалансовые воды, выводимые из систем водоснабжения, после соответствующей очистки могут возвращаться в производственный процесс или сбрасываться в водоем.

Рассмотрим технологические схемы очистки дебалансовых вод на примере предприятий черной и цветной металлургии, одних из крупнейших потребителей воды.

Безвозвратные потери потребляемой воды на указанных предприятиях достигают (10-15) %. Это происходит за счет испарения и каплеуноса в системах охлаждения оборотного водоснабжения, при приготовлении химически очищенной воды, потерь в технологических процессах. Для поддержания водного баланса в системах промышленного водоснабжения необходимо восполнение воды из поверхностных и подземных источников.

В оборотной воде происходит накопление солей, взвешенных веществ, нефтепродуктов, что негативно сказывается на эксплуатации оборудования. Для предотвращения накопления указанных загрязнителей производят сброс продувочных вод.

Дебалансовые воды формируются за счет продувочных вод оборотных систем, регенерационных растворов от химической подготовки воды, поверхностных стоков с территории и др. Химический состав дебалансовых вод характеризуется многообразием загрязняющих веществ и существенными колебаниями качественного и количественного состава. В этих водах содержатся соли тяжелых металлов (медь, никель, железо), хлориды и сульфаты, нефтепродукты, взвешенные вещества, концентрации которых в несколько раз превышают показатели свежей технической воды.

Для очистки дебалансовых вод рекомендованы технологические схемы, как правило, с механическими и физико-химическими методами. Выбор метода будет зависеть от того, какова в дальнейшем судьба очищенных вод. При возврате воды в производство затраты на водоподготовку и водоочистку частично снижаются за счет менее жестких требований к технической воде, чем при сбросе в систему городской канализации. Однако очистку дебалансовых вод приходится проводить обязательно.

Процесс накопления минеральных солей в оборотной воде происходит за счет ее частичного испарения в градирнях, в дебалансовых водах металлургических предприятий резко увеличивается содержание взвешенных веществ и нефтепродуктов, попадающих в воду в технологических процессах.

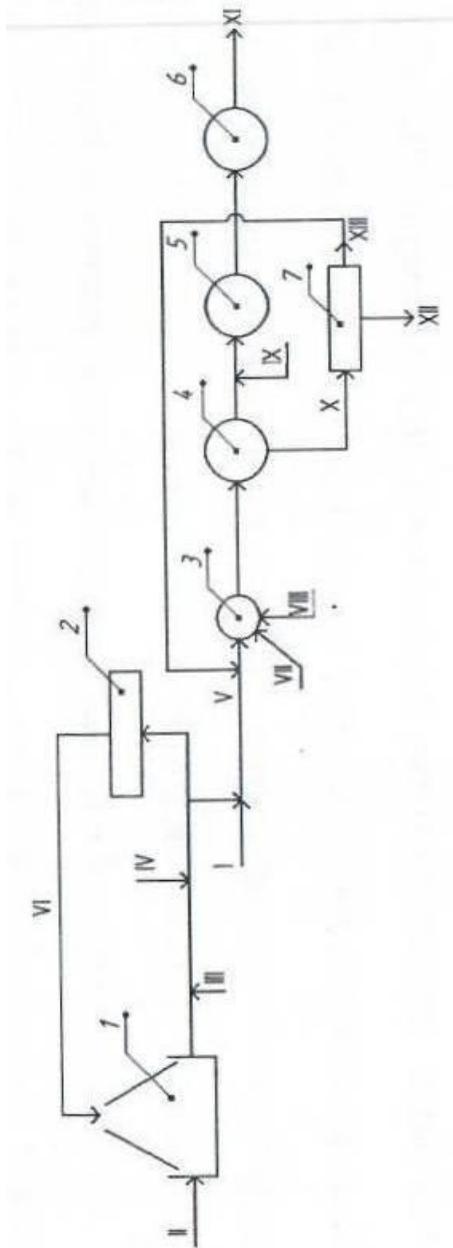
Технологическая схема очистки дебалансовых вод с высоким содержанием указанных примесей должна включать стадии извлечения крупных примесей, накопления и усреднения сточных вод, механическую и многостадийную физико-химическую очистку и при необходимости обеззараживание воды.

Для очистки от основной массы взвешенных веществ и нефтепродуктов рекомендуется отстаивание в тонкослойных отстойниках-флокуляторах со снижением содержания взвесей со

150 мг/л до 10-15 мг/л, нефтепродуктов с 30 мг/л до 1-3 мг/л. Отстойники-флокуляторы имеют малые габариты с увеличенной гидравлической нагрузкой, устойчивы в работе при больших колебаниях температуры и состава сточных вод, полностью автоматизированы, возможно их применение в различных технологических схемах очистки. В качестве реагентов предлагается использовать флокулирующий сорбент-соосаждитель «Экозоль-401» и катионоактивный флокулянт «Праестол». «Экозоль-401» - продукт механохимической реакции природного алюмосиликата с высокомолекулярными органическими соединениями, обладает сорбционными и ионообменными свойствами, может быть использован в водоподготовке и очистке промышленных и ливневых сточных вод.

Предложено два варианта принципиальных технологических схем очистки дебалансовых вод. Схема по первому варианту представлена на рисунке 9.

Из металлургического производства 2 нагретая обратная вода VI поступает на градирню 1, где происходит ее охлаждение. В воду после градирни добавляется ингибитор солевых отложений (антискалант) III для предотвращения накипеобразования и ингибитор биологических отложений IV. Часть воды возвращается в металлургическое производство, а часть в виде дебалансовых I и продувочных вод из оборотного цикла V идет в блок физико-химической очистки, где в смесителе 3 последовательно смешивается с растворами реагента «Экозоль-401» VII и флокулянта «Праестол» VIII. После стадии смешения обработанная реагентами вода направляется в отстойник-флокулятор 4 (отстойник-осветлитель), оборудованный камерой хлопьеобразования (флокуляции) и тонкослойными полочными элементами в отстойной зоне. Осадок X идет на обезвоживание в установку 7, откуда обезвоженный осадок XII отводится на утилизацию, а фильтрат XIII возвращается в смеситель 3. Вода из отстойника-флокулятора 4 подается на механический напорный



I – дебалансовые воды; II – подпиточная вода; III – реагент-ингибитор солевых отложений; IV – реагент-ингибитор биологических отложений; V – продувочная вода из оборотного цикла; VI – оборотная вода; VII – реагент «Экозоль»; VIII – флокулянт; IX – реагент-коагулянт; X – осадок; XI – очищенная вода; XII – обезвоженный осадок; XIII – фильтрат;

1 – градирня; 2 – металлургическое производство; 3 – смеситель; 4 – отстойник-флокулятор; 5 – напорный механический фильтр; 6 – сорбционный фильтр; 7 – установка обезвоживания осадка

Рисунок 9 – Схема очистки дебалансовых вод по 1-ому варианту

фильтр 5 с зернистой загрузкой для доочистки от взвеси и нефтепродуктов. Фильтрат направляется на блок доочистки из сорбционных фильтров 6, загруженных активированным углем марки БАУ. Очищенная вода XI сбрасывается в водоем, однако ее можно возвращать на подпитку водооборотного цикла.

Очистка дебалансовых вод с целью возврата на подпитку оборотного цикла осуществляется по схеме, приведенной на рисунке 10 (вариант 2).

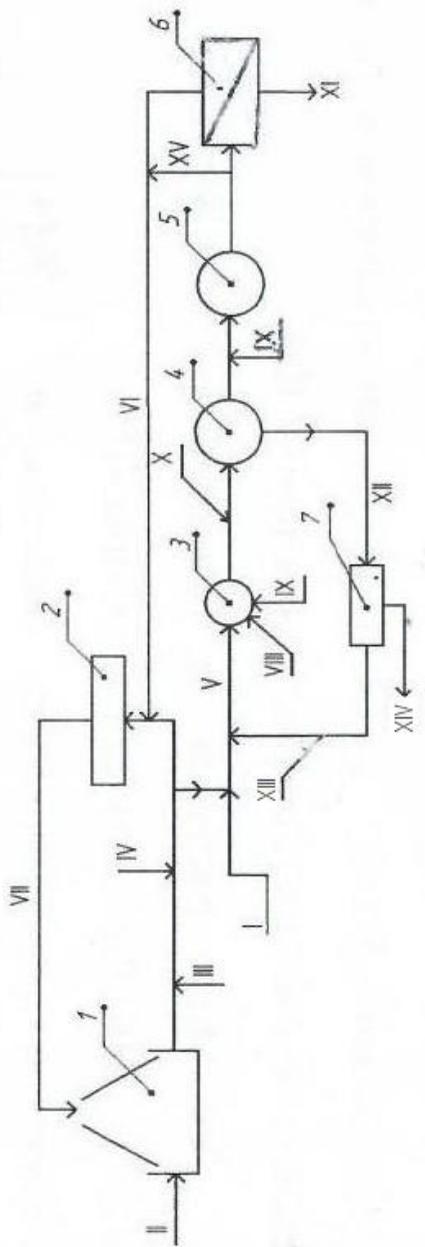
Оборотный цикл воды (металлургическое производство – градирия) аналогичен приведенному на рисунке 9.

Предварительная очистка проводится методом известкования (суспензия извести VIII) с коагуляцией (раствор железного купороса IX и флокулянта X). После добавления реагентов в смеситель 3 вода подается в отстойник-флокулятор 4, где происходит агрегация дисперсной фазы и в осадок переходят взвеси, соединения железа и тяжелых металлов., выделяются нефтепродукты. Одновременно происходит умягчение воды и снижение щелочности.

Осветленная вода из отстойника подается на механический фильтр 5, перед ним в воду добавляется коагулянт IX. Происходит доочистка от взвешенных веществ и нефтепродуктов. Грязные промывные воды от фильтров отводят в «голову» сооружений очистки продувочных вод. Осадок XII из отстойника-флокулятора 4 поступает на узел обезвоживания 7 с последующей утилизацией полученного кека XIV.

Второй этап заключается в корректировке солевого состава на установке обратного осмоса 6. Часть предварительно очищенной воды XV (до 20 % от расхода) подается в обход установки обессоливания, смешивается с фильтратом обратноосмотической установки VI и возвращается в водооборотную систему предприятия.

На обратноосмотической установке происходит деминерализация воды. Пермеат VI вместе с очищенной продувочной водой возвращается на подпитку водооборотных циклов предприятия, смешиваясь с потоком очищенной речной



I – дебалансовые воды; II – подпиточная вода; III – реагент-ингибитор солевых отложений; IV – реагент-ингибитор биологических отложений; V – продувочная вода из оборотного цикла; VI – обессоленная продувочная вода; VII – оборотная вода; VIII – реагент – известковое молоко; IX – реагент-коагулянт; X – флокулянт; XI – концентрированный раствор; XII – осадок; XIII – фильтр; XIV – обезвоженный осадок; XV – очищенная дебалансовая вода;

1 – градирня; 2 – металлургическое производство; 3 – смеситель; 4 – отстойник-флокулятор; 5 – напорный механический фильтр; 6 – установка мембранная; 7 – установка обезвоживания осадка

Рисунок 10 – Схема очистки дебалансовых вод по 2-ому варианту

воды. Использование обессоленной воды в соотношении с очищенной дебалансовой позволяет оптимизировать затраты на эксплуатацию систем оборотного водоснабжения.

Концентрат XI, количество которого может достигать 30 % от расхода обрабатываемых стоков, при солесодержании до 1 г/дм³ можно отвести в систему хозбытовой канализации, предварительно обработав щелочным реагентом для очистки от ионов тяжелых металлов, либо отправить на выпарку. Выбор того или иного метода обессоливания решается исходя из способа утилизации минерализованных стоков.

Контрольные вопросы

1. Проблемы систем оборотного водоснабжения
2. Характеристика схемы водооборота сернокислотного цеха (СКЦ) цинкового завода
3. Предложения по модернизации существующей системы водооборота СКЦ
4. Улучшения в результате реконструкции оборотного цикла СКЦ
5. Проблемы дебалансовых вод предприятий черной и цветной металлургии
6. Стадии очистки дебалансовых вод
7. Возможные варианты принципиальных технологических схем очистки дебалансовых вод

4 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДЫ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

4.1 Использование воды на ТЭЦ

На теплоэнергетических предприятиях подавляющая часть потребляемой воды идет на генерацию пара (пароводяной цикл), на охлаждение, пароснабжение (подпитка теплосети), гидравлическое удаление золы и шлака, подпитку котлов и др.

Вода расходуется следующим образом: подготовка воды для пароводяного цикла составляет от 25 % до 35 %, подпитка теплосети от 25 % до 30 %, добавка в систему охлаждения от 35 % до 55 %. Расход воды в системах водяного охлаждения конденсаторов турбин составляет 40-60 м³ на 1 т пара. В летнее время потребление воды на теплосеть снижается, а на цели охлаждения увеличивается.

Кроме конденсаторов турбин охлаждающая вода используется в газо- и воздухоохладителях турбогенераторов и питательных турбонасосов, а также для охлаждения подшипников вспомогательных механизмов.

Удельный расход воды на тепловых электростанциях малой и средней мощности составляет 0,12-0,45 м³/(кВт·ч). На теплоэлектростанциях большой мощности (свыше 500 тыс.кВт) и при повышении параметров пара этот расход уменьшается до 0,1-0,105 м³/(кВт·ч). Суммарное годовое потребление воды в отрасли составляет около 150 млрд м³ (400 млн м³/сут).

Большой расход воды для мощных ТЭС лимитирует использование прямоточных схем водоснабжения, на новых станциях системы охлаждения как в нашей стране, так и за рубежом принимаются исключительно оборотными. Для охлаждения нагретой воды применяются башенные, пленочные и капельно-пленочные градирни с естественной тягой. При разности температур нагретой и охлажденной воды от 7°С до 9°С в градирнях испаряется от 1,2 % до 1,5 % воды, капельный унос

составляет от 0,2 % до 0,5 %. Повышенный вынос капельной влаги из градирен приводит к сокращению продувки системы.

Количество охлаждающей воды, необходимой для отвода теплоты, конденсации пара и прочих нужд на теплоэлектростанциях мощностью 2400 МВт может составлять 250-350 тыс.м³/ч.

Современные тепловые электростанции являются источниками основных *видов сточных вод*:

1) *охлаждающие* конденсаторов турбин, воздухо-, маслоохладителей и другого оборудования;

2) *регенерационные* и промывочные от водоподготовительных установок и конденсатоочисток;

3) *загрязненные нефтепродуктами* маслосистем, узлов вращающихся механизмов;

4) *промывные* от обмывок наружных поверхностей котлов пиковых подогревателей, работающих на сернистом мазуте;

5) *систем гидрозолоудаления*;

б) *отработавшие растворы* после химической очистки и консервации теплового оборудования.

Охлаждающие воды дают только тепловое загрязнение, поэтому их используют в замкнутом водооборотном цикле с охлаждением. Остальные виды сточных вод должны подвергаться очистке.

С целью сокращения количества продувочных вод повышают коэффициент концентрирования воды оборотных систем охлаждения. Это требует совершенствования водно-химического режима, использования ингибиторов коррозии и накипеобразования, очистки воды от взвешенных веществ и предотвращения биологических обрастаний системы. Применение эффективной стабилизационной обработки добавочной и оборотной воды может полностью исключить необходимость продувки оборотных систем. Для предотвращения накипеобразования и коррозии применяют различные способы обработки воды – подкисление,

фосфатирование, декарбонизацию дымовыми газами, обработку раствором оксиэтилендифосфоновой кислоты, известково-содовое умягчение, использование антискалантов и комплексонов.

Высокая степень концентрирования (упаривания) оборотной воды отрицательно влияет на эксплуатацию оборотных систем и приводит к значительному солевому загрязнению атмосферного воздуха, почвы и поверхностного стока в районе расположения ТЭС. Для устранения этого влияния на электростанциях применяют сухое и комбинированное (мокрое) охлаждение воды. Решением проблемы сокращения сброса продувочных вод из оборотных систем водяного охлаждения является их повторное использование для технических нужд станций, например, в системе гидрозолоудаления.

4.2 Водоподготовительные установки ТЭС

Потребляемая теплоэнергетическими предприятиями вода должна подвергаться обработке с целью удаления, прежде всего, взвесей и солей жесткости. При этом образуются стоки предочисток, которые также надо подвергать очистке.

На водоподготовительных установках (ВПУ) и конденсатоочистках в результате технологических процессов появляются регенерационные и промывные воды с механическими примесями и повышенным содержанием солей.

Загрязнителями стоков предочисток являются недопал, шлам осветлителей, вода от взрыхления и промывок насыпных механических фильтров. Удаление шлама осуществляют при одновременном применении коагуляции, известкования и магниезиального обескремнивания. Шлам содержит CaCO_3 , CaSO_4 , $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, MgCO_3 , $\text{Al}(\text{OH})_3$, H_3SiO_3 , органические вещества. При осветлении высокомутных вод этот шлам сбрасывается либо в систему гидрозолоудаления, либо в

шламонакопители, откуда после отстаивания он поступает на шламовые площадки.

Сточные воды *конденсатоочисток* составляют небольшую часть общего солевого стока ВПУ. Они состоят из вод взрыхления сульфугольных фильтров, регенерационных сбросов ионообменных фильтров и т.п.

Наиболее сложной проблемой создания бессточного производства теплоэлектростанций является утилизация или ликвидация *минерализованных стоков*, образующихся при приготовлении питательной воды *методом ионного обмена* с использованием двух ступеней катионитовых и анионитовых фильтров. При этом необходимо периодически регенерировать указанные фильтры кислотой и щелочью, а регенерационные растворы подвергать какой-либо обработке.

При *регенерации H-катионитовых фильтров* основная часть кислых вод (до 75 %) сбрасывается с первой ступени, причем расход воды на регенерацию примерно равен ее расходу на отмывку и взрыхление. Максимальное солесодержание отработавших регенерационных растворов достигает 50 г/л, отмывочных вод от 20 до 80 мг/л.

Сточные воды после *регенерации Na-катионитовых фильтров* имеют нейтральную реакцию среды, максимальная концентрация сбрасываемых солей составляет от 50 до 70 г/л, общая жесткость до 100 мг-экв/л. Эти воды содержат в основном ионы Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} , Ca^{2+} , небольшое количество ионов железа и SO_4^{2-} .

При *регенерации анионитовых фильтров* первой ступени около 25 % воды идет на регенерацию, остальная – на отмывку. Максимальное солесодержание воды, сбрасываемой с различных ступеней анионитовых фильтров, может составлять от 15 до 60 г/л.

Для *сокращения количества сточных вод* и сбрасываемых с ними загрязнителей разрабатываются мероприятия по совершенствованию работы ионитовых фильтров, различные

способы предварительной подготовки воды и обработки регенерационных растворов. Среди них повторное использование отмывочных вод, применение ступенчато-противоточной и последовательной регенерации, введение непрерывного ионирования, использование отмывочных вод На-катионитовых фильтров для взрыхления и др.

Начинает внедряться безреагентный метод предварительного частичного обессоливания воды методом *электродиализа, обратного осмоса*, для обессоливания применяют *термический метод* с использованием испарителей или многокорпусных выпарных установок, что позволяет до минимума сократить количество минерализованных сточных вод от станций водоподготовки.

Сопоставление эксплуатационных затрат на умягчение воды на На-катионитовых фильтрах и электродиализом, показывает, что затраты на обработку воды по обеим технологиям примерно одинаковы. Термический метод позволяет сократить до минимума количество минерализованных сточных вод от станций водоподготовки. Применение испарителей кипящего типа, включенных в систему подогрева сетевой воды, полностью исключает использование в цикле водоподготовки кислот и щелочей, при этом сокращается в 3-5 раз объем сточных вод и от 25 % до 30 % количество содержащихся в них солей.

В последнее время появились сообщения об успешном применении *магнитной обработки* с целью интенсификации процесса очистки воды, для борьбы с накипеобразованием и инкрустацией.

Вместе с тем до настоящего времени часто используется *реагентный метод - нейтрализация* кислых сточных вод известковым молоком, аммиачной водой или пропусканием их через фильтры, заполненные доломитом, мраморной крошкой, содой, молотым известняком. Если сточные воды ВПУ имеют щелочной характер, то для нейтрализации необходимо добавлять кислые реагенты, например, H_2SO_4 или лучше использовать дымовые газы ТЭС.

Схема умягчения воды с использованием ионного обмена и электродиализа приведена на рисунке 11.

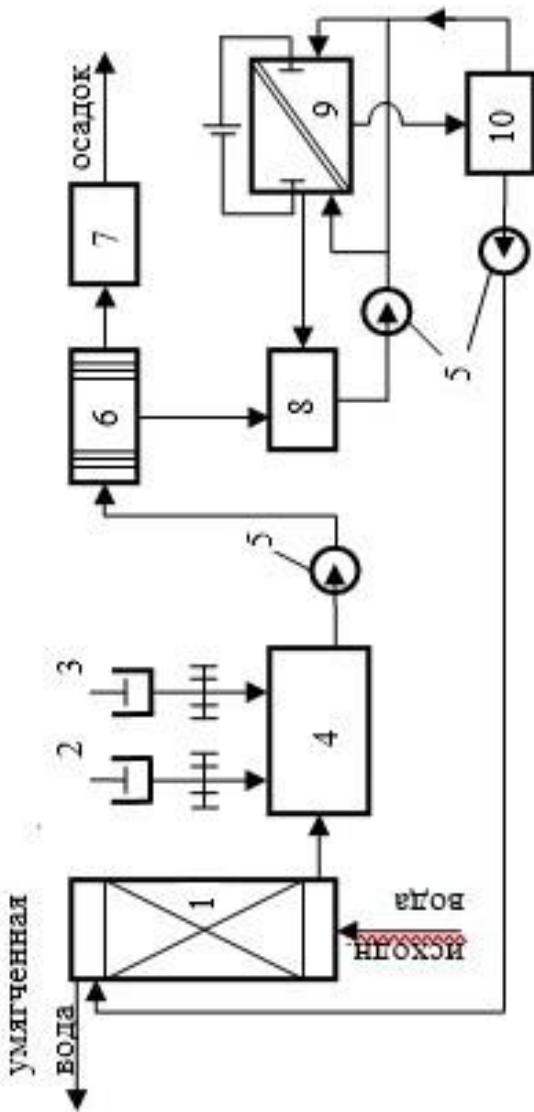
Исходная вода умягчается в Na-катионитовом фильтре 1, после исчерпания ионообменной емкости смолы, она должна подвергаться регенерации (7-10) % растворами кислот (HCl, HNO₃, H₂SO₄) или концентрированными растворами натриевых солей.

Регенерационный раствор после извлечения из Na-катионитового фильтра 1 ионов жесткости поступает в бак сбора и обработки регенерационного раствора 4, куда из емкостей с дозаторами 2 и 3 подаются растворы соответственно соды и извести для перевода солей жесткости в нерастворимое состояние. Далее насосом 5 пульпа направляется в фильтр-пресс 6, твердый осадок собирается в бункере 7, откуда направляется на складирование. Фильтрат, собранный в баке 8, разделяется на два потока, направляющиеся в камеры концентрирования и обессоливания электролизера 9.

Соотношение объемов растворов в этих баках равно кратности разбавления регенерационного раствора при регенерации, отмывке и обработке. Ионы Na⁺ и Cl⁻ переходят из камер обессоливания в камеры концентрирования до тех пор, пока не произойдет снижение общего солесодержания раствора до 800-1000 мг/л и соответственно повышения концентрации рассола до (6-8) %. Сконцентрированный рассол собирается в баке 10 и после корректировки направляется на регенерацию Na-катионитового фильтра после его истощения.

4.3 Очистка сточных вод на ТЭЦ

Сточные воды, загрязненные *нефтепродуктами*, образуются в мазутохозяйствах при перегрузке топлива и масел, вспомогательных службах (депо, компрессорные, автохозяйства), при обслуживании электромеханического оборудования, смыва полов. В состав нефтепродуктов входят мазуты, смазочные и изоляционные масла, керосин, бензин и т.д.



1-На-катионитовый фильтр; 2,3 – баки мешалки с дозаторами соответственно соды и извести; 4-бак для сбора и обработки регенерационных растворов; 5-насосы; 6-фильтр-пресс; 7-бункер твердых отходов; 8-бак для сбора фильтрата; 9-электролизер; 10-бак сконцентрированного раствора соли

Рисунок 11 – Схема умягчения воды с утилизацией регенерационного раствора соли

Расход сточных вод, загрязненных мазутом, составляет от 8 до 25 м³/ч, маслосодержащих – не выше 5 м³/ч. Содержание нефтепродуктов в стоках не превышает, как правило, 100 мг/л и поток отводится самостоятельной системой канализации.

Очистку нефтесодержащих стоков осуществляют в отстойном, фильтровальном, флотационном и сорбционном оборудовании. В нефтеловушках эффект очистки составляет от 40 % до 50 %, на механических фильтрах от 50 % до 60 %. Фильтры можно загружать антрацитом, конечная концентрация нефтепродуктов после них достигает 5-10 мг/л. При необходимости более глубокой очистки предусматриваются фильтры с активным углем. В качестве загрузки механических фильтров можно использовать полукокс, эластичный пенополиуретан, волокнистые материалы. Механические и угольные фильтры регенерируют промывкой горячей водой (60-70)°С или паром, через 1,5-2 года необходима полная замена загрузочного материала. Регенерация загрузки из пенополиуретана проводится механическим отжимом 1 раз в сутки.

Для удаления нефтепродуктов можно использовать коагуляцию как самостоятельно, так и совместно с флотацией. Применяются Al₂(SO₄)₃, FeCl₃, ПАА, а также катионные органически полиэлектролиты.

Эффективное выделение нефтепродуктов может обеспечить метод электрофлотационной очистки. При наложении электрического поля нефтепродукты перемещаются к аноду, выделяющиеся в результате электролиза пузырьки газа флотируют частицы нефтепродуктов на поверхности жидкости.

Уловленные в результате очистки нефтепродукты сжигаются в котлах электростанций или складироваются в нефилтруемых накопителях. Очищенные от нефтепродуктов сточные воды используются в повторном цикле ТЭЦ в оборотных системах охлаждения, гидрозолоудаления или после умягчения для подпитки теплосети.

На большинстве ТЭС, работающих на твердом топливе, желательно применять *оборотные системы гидравлического удаления золы и шлака*. При этом вода в значительной степени насыщается различными веществами в результате контакта с отходящими газами, золой и шлаком, например, известью, гипсом, содержит фториды, соединения мышьяка, ванадия, ртути, примеси из дымовых газов (CO_2 , SO_2 , SO_3) и другие токсичные и канцерогенные вещества.

Расход воды на гидрозолоудаление составляет от 15 до 30 м³ на 1 т золы. При оборотной системе гидрозолоудаления часть воды сбрасывается в водоем, а также теряется на испарение и фильтрацию в золоотвалах, поэтому расход воды в системе восполняется добавочной водой.

Осветленная после золоулавливания вода имеет широкий интервал значений рН в кислой и щелочной среде, что может привести к зарастанию отложениями водоводов и аппаратуры. Для предотвращения этого явления применяют рекарбонизацию, известково-содовое умягчение, аэрацию, фосфатно-углекислотную очистку, в результате чего осаждаются и соосаждаются целый ряд веществ – кадмий, цинк, железо, медь, никель, фтор, мышьяк.

Содержащийся в водах гидрозолоудаления шестивалентный хром восстанавливают бисульфитом натрия, а осаждают известковым молоком, при этом одновременно удаляются ионы фтора.

Для очистки от мышьяка используются осаждение $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с последующим отделением осадка $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$, $\text{Ca}_3(\text{AsO}_3)_2$ фильтрованием и дальнейшее его использование; окисление оставшегося мышьяка $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ с последующей обработкой H_3PO_4 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, отстаиванием или фильтрованием. Фосфатный мышьяксодержащий осадок в последнем случае идет на хранение, вода на сброс или в оборот.

Для удаления мышьяка и ртути используются сорбенты АН-261 и А-31, карогель гидридполисилоксана.

В качестве сорбентов при очистке сточных вод широко используют шлакозоловые отходы ТЭЦ, т.к. они содержат алюмосиликаты, являющиеся эффективными сорбентами.

Однако оборотные системы гидрозолоудаления не всегда возможно применять из-за климата, т.к. возникают проблемы возврата воды с золошлакоотвалов в зимнее время года.

Перспективной представляется замена гидравлического удаления золы и шлака на пневмогидравлическую, при этом существенно уменьшается расход воды на золоудаление, сокращается число пульпопроводов и насосов.

С целью создания замкнутых систем водопользования теплоэлектростанций шламовые воды осветлителей отводятся в систему гидрошламоудаления либо на нейтрализацию кислых стоков или после обезвоживания шлама возвращают воду на промывку зернистых фильтров. Повторное применение шламовых вод позволяет сократить количество сточных вод от станций химводоочистки от 40 % до 50 %.

Сточные воды *химических промывок и консервации оборудования* образуются нерегулярно, их количество и состав зависит от типа котла и схемы промывки. Промывные стоки можно разделить на три группы, содержащие:

1) неорганические вещества, концентрации которых не превышают значения ПДК в водоемах (сульфаты и хлориды кальция, магния и натрия);

2) токсичные вещества со значительным превышением их ПДК в водоемах (соли железа, меди, цинка, гидразин, фторсодержащие соединения);

3) органические вещества, аммонийные соли, нитриты, сульфиды, которые могут подвергаться бактериальному или непосредственному окислению.

Практически должны выделяться вещества *второй группы* и окисляться до ПДК третьей группы. Схема очистки таких вод предполагает сбор всех отработавших растворов и части наиболее загрязненных отмывочных вод ($pH < 6$) в емкости-

усреднители, нейтрализация в баках-нейтрализаторах с утилизацией осадка токсичных веществ второй группы и очистка загрязнителей третьей группы.

Осаждение ионов тяжелых металлов (Fe^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+}) известью происходит при различных pH в зависимости от образовавшихся при промывке комплексов металлов с реагентами. Для более полного осаждения железа в воду дозируется окислитель $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ (перевод Fe^{2+} в Fe^{3+}), для осаждения ионов меди и цинка используют Na_2S . После нейтрализации воду подкисляют и отправляют на биологическую очистку от органических примесей.

Для удаления отложений на котлах осуществляют постоянную обмывку их поверхностей через 15-20 суток. Средний ориентировочный размер стока обмывочных вод крупной ГРЭС составляет 10-15 т/ч. При очистке таких вод выделяют в осадок ванадий в виде V_2O_5 в сернокислом растворе с добавлением соды или NaOCl в каскадно расположенных реакторах с последующей промывкой осадка хлористым аммонием, горячей водой и обезвоживанием на барабанном вакуум-фильтре или фильтр-прессе. Вода после нейтрализации может использоваться на повторные обмывки котлов.

Контрольные вопросы

1. Потребление воды в теплоэнергетике
2. Основные виды сточных вод тепловых электростанций
3. Стоки водоподготовительных установок ТЭЦ
4. Утилизация минерализованных стоков водоподготовки
5. Очистка нефтесодержащих стоков ТЭЦ
6. Стоки гидравлического удаления золы и шлака на ТЭЦ, их обработка

5 СТОЧНЫЕ ВОДЫ КОКСОХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

5.1 Коксохимическое производство: стоки, системы канализования

Современные коксохимические заводы включают ряд основных производств: углеподготовительное, коксовое, улавливания химических продуктов коксования и очистки коксового газа от сероводорода. На отдельных предприятиях могут быть углеобогатительные фабрики, цехи смолопереработки и ректификации сырого бензола.

В процессе термической переработки каменного угля образуется значительное количество *сточных вод*, загрязненных *фенолами* (преимущественно летучими), *аммиаком* и *смолами*. Основными источниками образования сточных вод в процессе коксования являются: влага топлива или шихты, пирогенетическая вода, образующаяся при термическом разложении топлива, а также конденсат острого пара, вводимого в процессах переработки топлива.

Количество и состав стоков зависят от качества коксуемых углей, технологических параметров процесса коксования, конструкции коксовых печей и других параметров. На современных коксохимических заводах для различных технологических процессов удельный расход сточных вод колеблется от 0,2 до 3,5 м³ на 1 т кокса.

Общее количество сточных вод коксохимического производства при оборотной системе водоснабжения составляет от 0,35 до 0,38 м³ на 1 т кокса. Сброс сточных вод от основных технологических операций производится равномерно в течение суток и лишь от некоторых – периодически.

Основными сточными водами являются *фенольные*. Кроме летучих с водяным паром фенолов в них содержатся нелетучие фенолы (пирокатехин, резорцин), аммиак, сероводород, цианаты,

тиоционаты, а также смолы, масла, роданиды. Солесодержание общего стока составляет от 2,5 до 4,4 г/л, наиболее загрязненные стоки содержат до 0,8 до 3 г/л летучих и труднолетучих фенолов.

На коксохимических заводах имеются следующие *системы канализации*: фенольная, чистых вод, дождевая.

Источники образования сточных вод и способы их очистки от смол и масел для всех заводов в основном аналогичны.

Общезаводской сток фенольных вод может быть использован для *тушения кокса* как без очистки, так и после предварительной биологической очистки на локальной установке.

Для тушения кокса можно использовать сточные воды коксовых цехов. Они подвергаются очистке от механических примесей в отстойниках. Осадок из отстойников, состоящий из частиц кокса и коксового шлама, после подсушивания используется в качестве топлива, осветленная вода направляется на тушение.

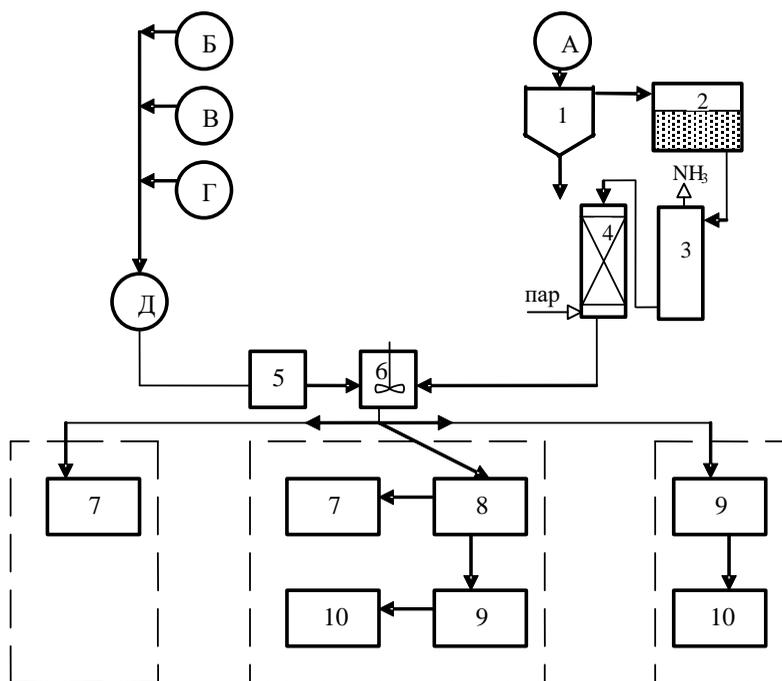
5.2 Очистка фенольных сточных вод химических цехов коксохимического производства

Сточные воды *химических цехов* очищаются *по схеме*, приведенной на рисунке 12.

Избыточная надсмольная аммиачная вода (поток А) проходит осветлители или отстойники воды 1 для удаления грубодисперсных взвесей и подаётся для обессмоливания в кварцевые фильтры 2. Продолжительность фильтроцикла около 96 ч при эффективности очистки 95 %. Регенерацию фильтра производят потоком горячей надсмольной очищенной воды снизу вверх в количестве около 3 % от ее объема.

После фильтров вода поступает на аммиачную колонну 3 для отдувки (десорбции) аммиака воздухом и в обесфеноливающий скруббер 4 для извлечения фенола эвапорацией. После скруббера надсмольные сточные воды поступают в усреднитель 6. При наличии локальной биохимической установки воды перед

поступлением в усреднитель охлаждаются в закрытой теплообменной аппаратуре до (30-35)°С.



1-осветлители и отстойники воды; 2-фильтры для обессоливания;
 3-аммиачная колонна; 4-обесфеноливающий скруббер; 5-установка
 механической очистки; 6-усреднитель; 7-установка тушения кокса;
 8-биохимическая установка; 9- городские очистные сооружения;
 10-водоем

А-избыточная надсмольная аммиачная вода; Б- конденсат
 газопроводов; В-вода от освежения цикла газового холодильника; Г-
 сепараторные воды; Д - сборник объединенного стока фенольных вод

Рисунок 12 – Схема очистки фенольных сточных вод
 коксохимического производства

Конденсат газопроводов (Б), вода от осветления цикла конечного газового холодильника (В) и сепараторные воды (Г) объединяются в один поток в сборнике объединённого стока фенольных вод (Д) и подвергаются очистке на установке механической очистки 5. Надсмольная вода (А), прошедшая предварительную очистку и объединенный сток фенольных вод (Д) после механической очистки, смешиваются в усреднителе 6.

Далее возможны варианты использования воды: на установке для тушения кокса 7, очистке на городских биологических очистных сооружениях 9 с последующим выпуском в водоем 10, очистке на локальной биохимической установке 8, после которой вода идет либо на тушение кокса, либо на доочистку в городские очистные сооружения.

Биохимическая очистка, как правило, осуществляется в две или три ступени для более полного удаления фенолов, а также очистки от цианидов и роданидов. При этом на первой ступени предусматривается очистка от фенолов с помощью фенолразрушающих бактерий, на второй – от роданидов и цианидов с помощью роданразрушающих бактерий, на третьей – окончательная доочистка сточных вод. Преимуществом многоступенчатых схем является возможность использования на первых двух ступенях, специально адаптированных фенол- и роданразрушающих культур микроорганизмов.

Для локальной биологической очистки в одну или две стадии рекомендуют аэротенки с пневматической и пневмомеханической системой аэрации.

Во вторичных отстойниках после аэротенков осаждается до 80 % активного ила при 1,5-часовом отстаивании. Для лучшего отделения активного ила от воды используются различные коагулянты, в частности, хлорное и серноокисное железо, оксихлорид и сульфат алюминия, которые обеспечивают (90-93) %-ную степень очистки воды.

Дальнейшему осветлению воды препятствуют некоторые ее компоненты, обладающие свойствами ПАВ. Поэтому для более глубокой очистки воды могут быть использованы флотаторы или осветлители.

В последнее время намечается переход на одноступенчатую очистку, что позволяет в 1,5-1,6 раза сократить объем аэротенков.

Степень очистки от фенолов при биохимической очистке достигает 99,8 %, от роданидов – 99,6 %. Конечное содержание фенолов в очищенной воде составляет 0,1 – 0,3 мг/л, роданидов 5 – 20 мг/л.

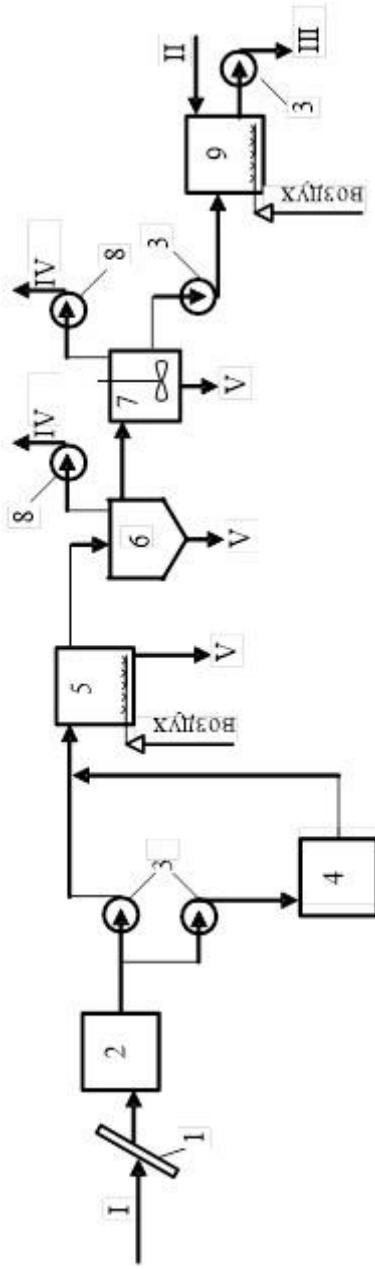
На ОАО «Алтай-кокс» в схеме биологической очистки после первичного отстойника вода идет во флотатор, где выделяются смола и масло. Далее вода поступает в смеситель, куда подается фосфорное питание в виде ортофосфорной кислоты, часть воды отправляется в питомник активного ила, основная часть идет в аэротенк сначала I ступени, где очищается от фенолов, а затем - II ступени, где удаляются роданиды и цианиды. Отделение активного ила от воды осуществляется в гидроциклонах.

5.3 Механическая очистка фенольных сточных вод

Конденсат газопроводов, вода от осветления конечного газового холодильника и сепараторные воды объединяются и проходят систему механической очистки (рисунок 13).

Фенольная сточная вода I проходит через подъёмную решётку 1 и собирается в сборник фенольных вод 2, из которого насосами 3 подаётся в аэрируемую песколовку 5. Часть воды для поддержания постоянного уровня в песколовке проходит уравнильный резервуар 4. В песколовке удаляется осадок V, а вода поступает в радиальный отстойник 6, где выделяются тяжёлые смолы и масла IV, перекачиваемые насосами 8 на склад смолы.

Вода из отстойника идёт на флотационный маслоотделитель 7 для более глубокого удаления смол и масел. Маслоотделитель работает по принципу импеллерной флотации, при этом обеспечивается стабильная очистка сточных вод от смол и масел до их остаточного содержания 58-74 мг/л. Концентрация смол и масел в очищенной воде может быть понижена почти в два раза при добавлении в исходную воду коагулянта – сернокислого закисного железа в количестве 30-70 мг/л.



1- подъёмная решетка; 2-сборник фенольных вод; 3-насосы для перекачивания воды; 4-уравнительный резервуар; 5-аэрируемая песколовка; 6-радиальный отстойник; 7- флотационный маслоотделитель; 8-насосы для перекачки смолы и масла; 9-усреднитель

I- фенольная сточная вода; II-надсмольная вода; III- подача воды на тушение кокса или биологическую очистку; IV-смолы и масла на склад смолы; V-осадок

Рисунок 13 – Схема механической очистки фенольных вод коксохимического производства

Очищенная вода поступает в усреднитель 9, где смешивается с предварительно очищенной надсмольной водой II. Смешанный поток может идти на тушение кокса или подвергаться биологической очистке III.

Использование очищенных вод для подпитки охлаждающих систем открывает определенные перспективы для дальнейшего сокращения водопотребления в коксохимическом производстве.

При наличии на заводе мокрого и сухого тушения кокса возможно частичное использование фенольных сточных вод в охладительных системах оборотного водоснабжения, в которых вода не соприкасается с продуктами переработки. При этом общезаводские стоки разделяют на солевые и бессолевые потоки, каждый из которых после соответствующей подготовки может быть направлен на мокрое тушение кокса и в системы оборотного водоснабжения. Для тушения кокса можно использовать продувочные воды охладительных систем.

5.4 Физико-химические методы очистки фенольных сточных вод

Из физико-химических методов очистки фенольных сточных вод на предприятиях коксохимии и переработки твердых топлив наиболее часто используются экстракция и эвапорация.

При *экстракционной очистке* фенольных вод в качестве экстрагентов применяются бутилацетат, диизопропиловый эфир, бензол и др. Для повышения эффективности извлечения фенолов используют смешанные растворители: бутилацетат с бутиловым спиртом, диизопропиловым эфиром и др. Чаще применяют смесь бутилацетата с изобутилацетатом (феносольван).

Установки экстракционной очистки от фенолов включают четыре отделения:

1) подготовки фенольных сточных вод к экстракции – выделение смол отстаиванием и фильтрованием, охлаждение

воды, улавливание паров растворителя абсорбцией и, в случае необходимости, карбонизация;

2) экстракции в двух последовательно соединенных распылительных экстракционных колоннах; во вторую по ходу движения воды колонну подается свежий экстрагент, а полученный в ней слабый экстракт поступает на первую колонну;

3) регенерации экстрагента из воды на отгонной насадочной колонне, в нижнюю часть которой подается острый пар; очищенная вода направляется на доочистку, а экстрагент отделяется от воды в сепараторе и возвращается на экстракцию;

4) регенерации растворителя из экстракта на ректификационной тарельчатой колонне, предназначенной для сгущения экстракта, и последующей регенерации в насадочной ректификационной колонне с подачей в нее острого водяного пара; экстрагент после расслаивания с водой возвращается в экстракционную колонну, а товарные фенолы из куба колонны направляются на склад.

Экстракционные методы обесфеноливания обладают высокой эффективностью очистки (до 98 %), возможностью извлечения нелетучих фенолов. К недостаткам можно отнести высокие капитальные и эксплуатационные затраты.

Схема очистки фенольных вод экстракции приведена на рисунке 14.

Сточные воды, содержащие до 30 г/л фенола, подаются на локальную очистку, которая заключается в экстракции фенола диизопропиловым эфиром или ацетофеноном.

Предварительно сточные воды из сборника 1 через напорный бак 2 поступают в резервуар 3, где подкисляются серной кислотой до $pH=1$, а затем направляются через усреднитель 4 насосом 5 на орошение абсорбционной колонны 6 для извлечения летучих веществ из абгазов.

Экстракция фенола производится в двух последовательно работающих пульсационных экстракционных колоннах 7 с прерывистой подачей экстрагента. Соотношение эфира и сточной воды составляет 1:3, степень извлечения фенола из сточных вод при использовании диизопропилового эфира достигает 99,3 %, ацетофенона – 99,6 %.

Экстракт из двух экстракционных колонн, насыщенный фенолом, поступает в насадочную ректификационную колонну 8 для регенерации экстрагента. Пары эфира из колонны направляются в конденсатор 9, а затем в емкость эфира 13, откуда вновь возвращаются на экстракцию. Часть сконденсированных паров возвращается в виде орошения в колонну 8. Регенерированный фенол собирается в ёмкость 14 и направляется в производство.

Обесфеноленная вода подвергается отпарке от эфира в отварной колонне 11 и после охлаждения в холодильнике 12 сбрасывается в канализацию для дальнейшей биологической очистки. Выделившийся в дистиллате экстрагент собирается в емкости 13 и возвращается на процесс экстрагирования в колонны 7.

Пароциркуляционным методом (эвапорацией) можно извлечь из воды только летучие с водяным паром фенолы (рисунок 15). Сточную воду предварительно очищают от летучего аммиака в аммиачной колонне 1, после чего она подается в верхнюю часть обесфеноливающего скруббера 4. Верхняя и нижняя часть скруббера разделены глухой тарелкой, оборудованной патрубком для прохода пара. Верхняя эвапорационная часть колонны загружена деревянной хордовой насадкой, нижняя поглотительная – металлической спиральной. В скруббере осуществляется постоянная циркуляция с помощью вентилятора 5 водяного пара с температурой от 101°С до 103°С. Из сточной воды, стекающей по хордовой насадке, поднимающийся водяной пар отгоняет фенолы, происходит распределение фенола между жидкой и паровой фазами согласно закону равновесного распределения

$$K_p = C_p / C_w,$$

где C_p , C_w – концентрации извлекаемого вещества соответственно в паре и воде при установившемся равновесии.

Обесфеноленная вода поступает в реактор-отстойник 6, куда добавляется известковое молоко для выделения аммиака из связанных солей.

Водяной пар, насыщенный фенолами, из верхней десорбционной (эвапорационной) части скруббера вентилятором 5 подается в нижнюю поглотительную часть, сверху орошаемую горячим 10 %-ным раствором едкого натра из сборника 10 с помощью насоса 9. Образующийся раствор фенолятов натрия циркулирует в нижнем ярусе поглотительной части скруббера, часть его стекает в сборник 12 и направляется на склад.

Для повышения степени извлечения фенолов из циркулирующего пара применяется трехступенчатая схема орошения в верхней обесфеноливающей части скруббера и двухступенчатая рециркуляция раствора фенолята натрия с периодическим орошением свежим раствором щелочи в нижней поглотительной части.

Степень обесфеноливания первапорацией составляет от 80 % до 90 %. К достоинствам метода можно отнести простоту и компактность установки, легкость в эксплуатации, отсутствие контакта сточной воды с реагентами. Недостатки: малая эффективность обесфеноливания, значительные расходы пара и щелочи, потери фенола при отгонке летучего аммиака.

Фенольные сточные воды после установок экстракции и эвапорации доочищаются на биологических очистных сооружениях по одно- и двухступенчатым схемам.

Для доочистки сточных вод, прошедших физико-химическую очистку, можно применять методы адсорбции, ионного обмена и озонирования.

Адсорбцию проводят активными углями, золой, шлаком. Метод успешно используют для доочистки фенольных вод после экстракции. При этом дополнительно получают товарный фенол и воду, пригодную для использования в производстве.

Ионный обмен проводят на органических ионообменниках – пермутите и вофатите. С помощью катионита КУ-2 в Н-форме из стоков извлекают фенолы, а анионитом АН-2Ф в ОН-форме –

роданиды, тиосульфаты, цианиды и другие соли. Очищенная вода может быть использована в системах оборотного водоснабжения.

Перспективным методом доочистки фенольных сточных вод является озонирование. Концентрация фенолов в сточных водах снижается с (200-300) мг/л до (0,1-0,2) мг/л, роданидов с (500-600) мг/л до (3-5) мг/л. Расход озона составляет (1,5-2,0) г на 1 литр воды.

Контрольные вопросы

1. Системы канализования коксохимических производств
2. Система очистки фенольных сточных вод коксохимических производств
3. Механическая очистка фенольных сточных вод коксохимических производств
4. Очистка фенольных сточных вод методом экстракции
5. Обесфеноливание сточных вод методом эвапорации

6 ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В машиностроительную отрасль промышленности входят предприятия различного профиля автомобилестроения, машиностроения, приборостроения. К ним относятся автомобильные, тракторные, комбайностроения, сельскохозяйственных машин, автотракторной электроаппаратуры, подшипниковые, инструментальные, станкостроительные и др. Технологические процессы большинства из них во многом аналогичны, т.к. основными цехами являются сборочные, механические, инструментальные, кузнечные, пресовые, литейные, термические, защитных покрытий, окраски и др. Эти предприятия расходуют до 10 % свежей воды, потребляемой всеми отраслями промышленности, основное количество ее идет для промывки изделий после травления, обезжиривания и гальванических покрытий, на охлаждение оборудования.

6.1 Стоки предприятий машиностроения

Количество производственных сточных вод на машиностроительных заводах колеблется в значительных пределах и определяются характером производства и его мощностью. В зависимости от вида загрязнений выделяют следующие основные *категории стоков*:

I – чистые, от охлаждения основного технологического оборудования; их количество от 50 % до 80 % от суммарного водопотребления предприятия; это воды компрессорной, котельной, электрических и литейных печей;

II – загрязненные механическими примесями и маслами, в количестве от 10 % до 15 % от суммарного водоиспользования; содержат до 300 мг/л механических примесей, 50-400 мг/л масел;

это стоки от промывки изделий в механо-сборочном, кузнечно-прессовом, сварочном и других производствах;

III – химически загрязненные (кислотами, щелочами, солями, соединениями хрома, циана и др.) сточные воды гальванических производств в количестве от 5 % до 10 % общего водопотребления делятся на слабо- и сильноконцентрированные, образуются в процессе химической и электрохимической обработки изделий, от промывки после травления и нанесения гальванического покрытия, от химической водоподготовки;

IV – отработавшие смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) или эмульсии, они составляют около 1 % от общего потребления воды и представляют собой концентрированные маслосодержащие сточные воды, образующиеся в механосборочном и гальванических производствах, на участках металлопокрытий и окраски;

V – шламосодержащие сточные воды вентиляционных систем от 10 % до 20 % от общего водопотребления; образуются при мокрой очистке вентиляционных систем, от грануляции шлака в литейном производстве;

VI – поверхностно-дождевые стоки с территории предприятия.

Каждый из указанных потоков целесообразно очищать отдельно.

В системе оборотного водоснабжения используются воды I категории от охлаждения оборудования. Они подвергаются охлаждению в градирнях, брызгальных бассейнах, в закрытых теплообменных аппаратах.

6.2 Очистка сточных вод, загрязненных механическими примесями и маслами

Стоки, загрязненные *механическими примесями и маслами* (II категория), после очистки от механических примесей до концентрации 10-30 мг/л и масел 5-20 мг/л целесообразно

возвращать на технологические нужды в те производства, откуда они получены, а также использовать для подпитки систем оборотного водоснабжения. Очистку таких сточных вод можно осуществлять по схеме, приведенной на рисунке 16, выбирая вариант использования электрокоагуляции, напорной флотации или реагентной коагуляции.

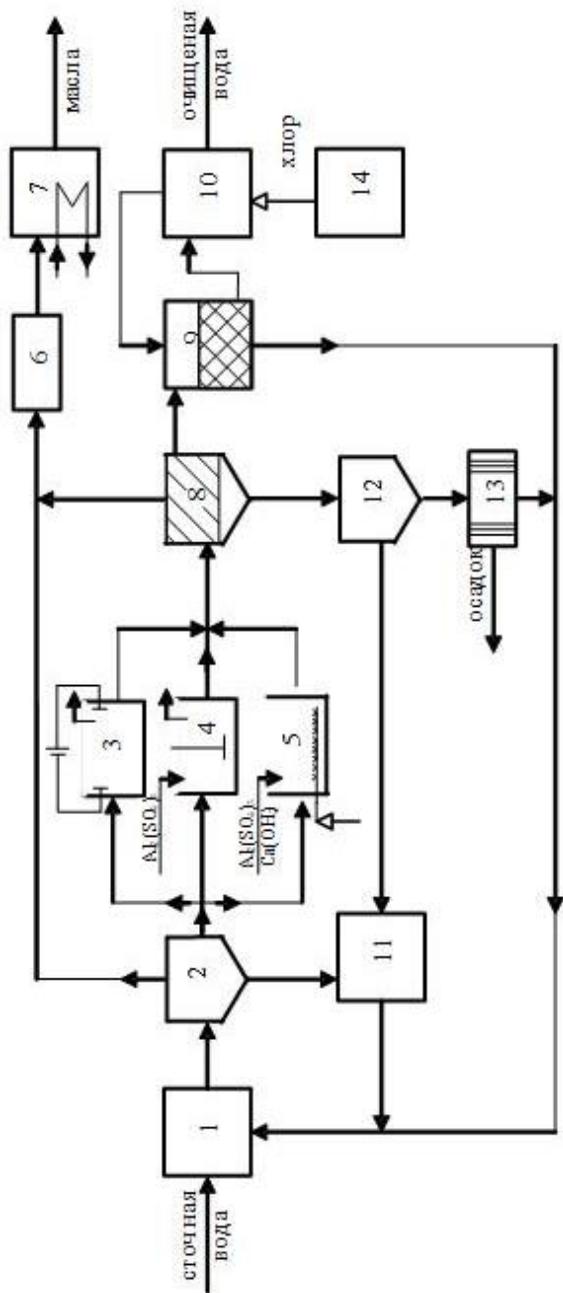
Стоки, загрязнённые механическими примесями и маслами, поступают в усреднитель 1, а затем в песколовку 2, из которой масла направляются в маслосборник 6. Осадок из песколовки направляется на песковые площадки 11. Дальнейшая очистка воды может осуществляться по нескольким вариантам с использованием *электрокоагуляции* (электрокоагулятор 3), *импеллерной флотации* (флотатор 4), *реагентной коагуляции* (коагулятор 5).

Дальнейшее отстаивание происходит в горизонтальных или вертикальных полочных отстойниках (нефтеловушках) 8 не менее 2 часов. Осадок после отстаивания уплотняется в уплотнителе 12 и обезвоживается на установке для обезвоживания 13 (фильтр-пресс). Вода, выделившаяся после уплотнения осадка, идёт на песковые площадки 11, откуда возвращается на смешение с исходными стоками в усреднитель 1. Туда же поступает вода после обезвоживания осадка на фильтр-прессе 13.

Доочистку воды проводят в фильтрах 9 с синтетическим или другими волокнистым материалом, фильтры могут быть встроены в отстойники или нефтеловушки. Очищенная вода накапливается в резервуаре 10 и возвращается в производство.

Стабилизационная очистка воды заключается в её хлорировании из установки 14. Часть очищенной воды идёт на промывку фильтров 9, промывные воды подвергаются очистке совместно с исходной водой.

Масла, выделенные в песколовке и отстойнике-нефтеловушке, собираются в маслосборнике 6, а затем обезвоживаются в установке 7 путём подогрева их до температуры от 70°C до 80°C, а затем регенерируются или сжигаются.



1 - усреднитель; 2 - песколовки; 3 - электрокоагуляторы; 4 - флотаторы; 5 - коагуляторы; 6 - маслосборник; 7 - установка обезжиривания масел; 8 - отстойники (нефтеловушки); 9 - фильтры доочистки; 10 - резервуары очищенной воды; 11 - песковые площадки; 12 - уплотнители осадка; 13 - установка обезжиривания осадка; 14 - установка стабилизационной обработки воды

Рисунок 16 – Схема очистки сточных вод предприятий машиностроительной промышленности от механических примесей и масел

6.3 Очистка химически загрязненных стоков

Химически загрязненные сточные воды (III категория) чаще всего подвергаются реагентной очистке совместно с отработанными технологическими растворами. Как правило, технологические схемы предусматривают отдельную обработку *реагентами* хромсодержащих, циансодержащих и кислотно-щелочных сточных вод по потокам: слабоминерализованные кислотно-щелочные, циансодержащие, отработанные электролиты. Используют серную кислоту, бисульфит или сульфат натрия для обезвреживания хромсодержащих сточных вод; известковое молоко, хлорсодержащие компоненты (жидкий хлор, гипохлориты кальция и натрия, хлорную известь и др.) для обезвреживания циансодержащих сточных вод.

Обезвреженные хром- и циансодержащие стоки совместно со среднеминерализованными кислотно-щелочными обрабатываются известковым молоком и после осветления в отстойниках отводятся в городскую канализацию. Для улучшения процесса осаждения перед отстойниками добавляют 0,1 %-ый раствор полиакриламида. Доочистка может проходить на механических фильтрах.

Схема реагентной очистки от ионов тяжелых металлов приведена на рисунке 17.

Кислые и щелочные стоки усредняются, а затем подвергаются нейтрализации известью, гидроксидом натрия или содой. При этом образуются гидроксиды тяжелых металлов, для лучшего осаждения которых применяется полиакриламид или другой флокулянт. Выделенный при отстаивании шлам подвергается уплотнению и обезвоживанию фильтрованием. Фильтрат возвращается на стадию отстаивания, шлам идет в отвал или на переработку. Вода после отстаивания обрабатывается сульфидом натрия, образующиеся сульфиды металлов имеют меньшую растворимость по сравнению с другими солями и легче отделяются от воды. Для

интенсификации процесса отстаивания добавляют коагулянты: сульфаты алюминия и железа, а также известь. Крупные скоагулированные хлопья взвесей подвергаются отстаиванию либо фильтрованию.



Рисунок 17 – Схема реагентной очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов

Традиционные методы очистки сточных вод от солей тяжелых металлов не обеспечивают необходимую глубину

очистки, например, от хрома, никеля, меди, цинка, кадмия, железа и др. Существующие технологии отличаются высокой потребностью в реагентах, сорбентах, вторичным загрязнением стоков, большим количеством труднообрабатываемого осадка. Поэтому поиск новых технологий для этих целей, несомненно, актуален.

Слабоминерализованные кислотнo-щелочные сточные воды обрабатывают в гальванокоагуляторе повторно используются на технологические нужды в гальваническом цехе.

При значительных концентрациях циана и шестивалентного хрома (до 100 мг/л) можно применять *электрокоагуляционную* очистку со стальными электродами. При этом удаляются и тяжелые металлы (Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+}).

Применение *ионного обмена* наиболее целесообразно при регенерации элюатов из отработавших растворов.

Обратным осмосом (наночисткой) можно извлечь из промывных вод гальванических производств ионы никеля, хрома, цинка, кадмия. Эти же металлы, а также медь можно удалить *экстракцией*. *Выпариванием – дистилляцией* очищают воду, предварительно обработанную реагентами и осветленную в отстойнике от никеля, цинка, кадмия.

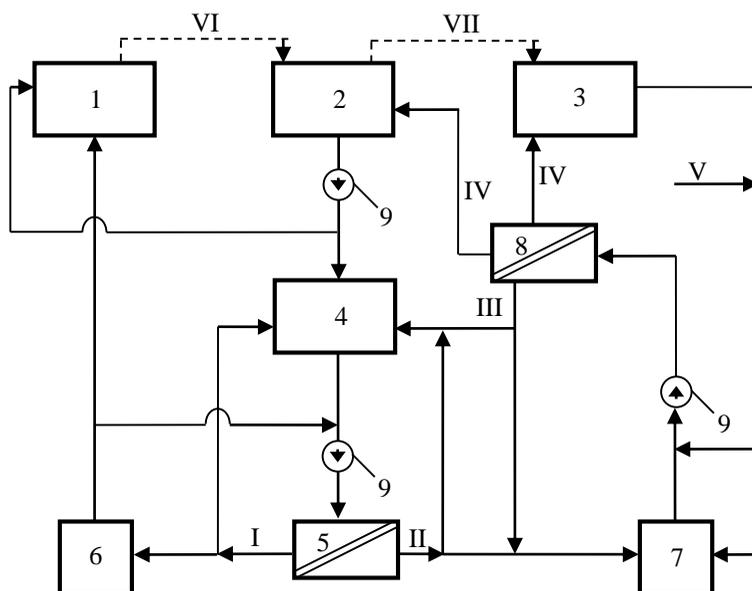
Схема регенерации никельсодержащего электролита обратным осмосом приведен на рисунке 18.

Деталь после ванны электролитического никелирования 1 поступает последовательно в ванны улавливания (промывки) 2 (непроточная) и 3 (проточная).

Промывная вода из ванны 2 насосом 9 подается в емкость исходного раствора 4, откуда часть воды поступает на обратноосмотический аппарат первой ступени 5, часть воды может быть возвращена в ванну никелирования 1 для приготовления электролита.

Фильтрат II с установки 5 направляется в емкость для сбора фильтрата 7, а концентрат I возвращается в бак 4. Циркуляция концентрата через аппарат 5 продолжается до достижения

содержания в нем сульфата никеля 15 г/л, после чего он перекачивается в емкость для сбора концентрата б, из которой после деконцентрирования и корректировки может быть возвращен в ванну никелирования 1.



1 – ванна электромеханического никелирования; 2 – первая ванна улавливания; 3 – вторая ванна улавливания (промывки); 4 – ёмкость исходного раствора; 5 – обратноосмотический аппарат первой ступени обработки; 6 – ёмкость сбора концентрата; 7 – ёмкость сбора фильтрата; 8 – обратноосмотический аппарат второй ступени обработки; 9 – одноплунжерный насос

I – поток концентрата первой ступени обработки; II – поток фильтрата первой ступени обработки; III – поток концентрата второй ступени обработки; IV – поток фильтрата второй ступени обработки; V – подвод деионизированной воды; VI, VII – перемещение деталей в процессе промывки

Рисунок 18 – Замкнутая схема регенерации никельсодержащего электролита из промывных вод

В емкости для сбора фильтрата 7 объем раствора доводится до требуемого уровня водой второй ванны улавливания 3 и направляется на обработку в обратноосмотическую установку второй ступени 8. Фильтрат IV из этой установки поступает в первую ванну улавливания 2, другая часть идет на промывку деталей в ванну улавливания 3. Концентрат III возвращают на рециркуляцию в бак 7 до достижения содержания NiSO_4 2 г/л, после чего сбрасывается в бак 4. В системе предусмотрена также подпитка деионизированной водой V.

Стоки, загрязненные шестивалентным хромом, можно очищать *биохимическим методом* в биовосстановителях в отсутствие кислорода воздуха и при смешении с бытовыми сточными водами. При этом происходит перевод шестивалентного хрома в трехвалентный и далее в легкоосаждаемый гидроксид под действием микроорганизмов бытовых стоков.

Предложено применять технологию биохимической очистки с использованием анаэробных микроорганизмов – сульфатвосстанавливающих бактерий. Эти микроорганизмы обладают способностью восстанавливать сульфаты до сероводорода, который взаимодействует с ионами металлов с образованием нерастворимых сульфидов тяжелых металлов. Схема биохимической очистки от ионов тяжелых металлов приведена на рисунке 19.

Технологическая схема включает:

- усреднители промывных и концентрированных стоков гальваники;
- предварительную обработку воды от взвесей, масел, нефтепродуктов механическими методами;
- биохимическую очистку в биотенках;
- образование хлопьев и отстаивание их в тонкослойном отстойнике;
- обеззараживание воды озоном;
- обезвоживание осадка.

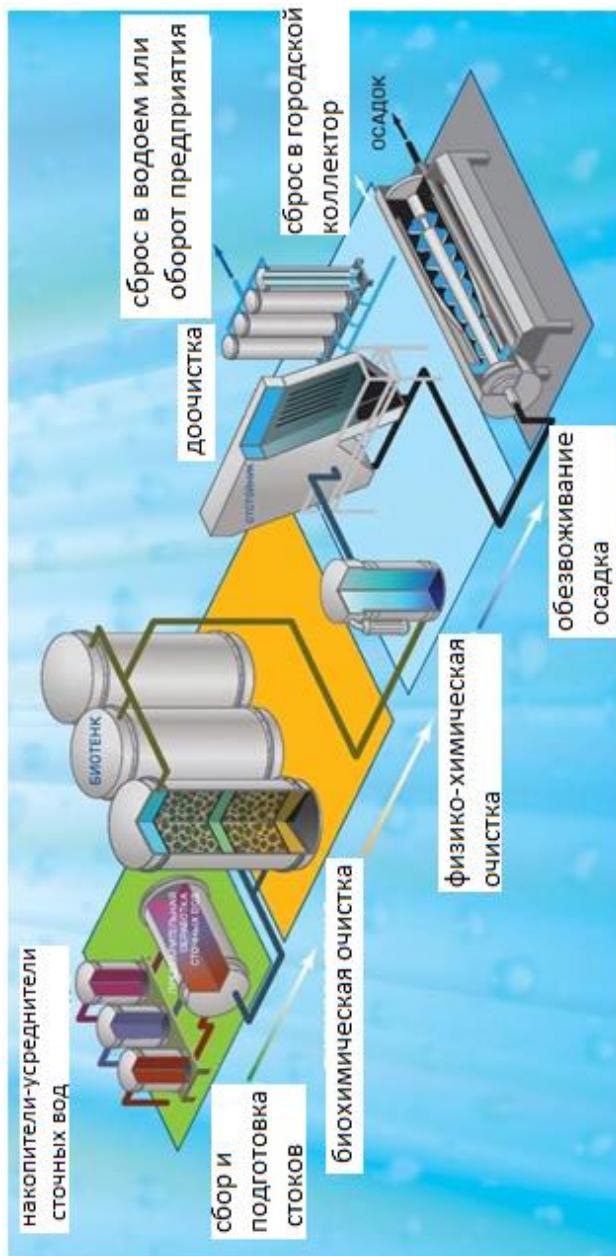


Рисунок 19 – Схема биохимической очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов

Промывные и концентрированные стоки собираются в накопители-усреднители и подвергаются предварительной обработке для удаления нефте- и маслопродуктов, грубодисперсных взвешенных веществ.

После такой предварительной подготовки сточные воды поступают на биохимическую очистку в биотенки, стальные аппараты вертикального типа, заполненные пористым материалом. На его поверхности закреплена био пленка, основными микроорганизмами которой являются сульфатвосстанавливающие бактерии.

Образовавшиеся сульфиды тяжелых металлов вместе с отмершей био пленкой поступают на отстаивание в тонкослойные отстойники. Осадок направляется на обезвоживание в центрифугу с винтовым конвейером, а вода подвергается обеззараживанию озонированием и может быть возвращена в водооборот предприятия. Учитывая малую растворимость сульфидов металлов по сравнению с гидроксидами, повышается эффективность очистки от ионов хрома до 99 %, ионов меди, цинка, никеля до (97-99) %, кроме того снижается общее солесодержание стоков на (65-70) %.

В процессе биохимической очистки наряду с восстановлением сульфатов до сероводорода происходит одновременное окисление органических веществ и разрушение фосфатов, нитритов, ионов аммония, эффективность очистки от последних может достигать (70-90) %.

Предложенная технология позволяет повысить эффективность очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов по сравнению с реагентными методами, снизить общее солесодержание в отличие от мембранных установок, автоматизировать процесс. Однако, несмотря на небольшой объем осадка, возникают вопросы с его дальнейшей утилизацией.

6.4 Очистка других видов стоков: отработавших СОЖ, шламосодержащих, поверхностных

Отработавшие СОЖ или эмульсии (IV категория) перед сбросом в канализацию подвергают очистке на самостоятельных очистных сооружениях. Для разрушения отработавших эмульсий применяют реагентно-флотационный, реагентно-сепарационный, электрокоагуляционный и ультрафильтрационный методы.

При использовании *реагентно-флотационного* метода добавляют 1-3 мг/л сернокислого алюминия. Отработавшие эмульсии после предварительного отстаивания, удаления осадка и свободных масел поступают в напорный флотатор. Снижение концентрации масел в стоке после очистки до 15-20 мг/л может быть достигнуто многократной флотацией.

В процессе *реагентно-сепарационного* метода (центрифугирования) очистка осуществляется по схеме:

- усреднение и отстаивание стока, подкисление до $\text{pH}=1-2$;
- удаление всплывших свободных масел;
- обработка подкисленного стока в центрифуге или сепараторе. Концентрация масел в очищенной воде 25-50 мг/л. Однако, при такой обработке центрифуга должна изготавливаться в кислотостойком исполнении. При отсутствии указанного оборудования подкисление проводят до $\text{pH}=6,6-6,9$; очищенную воду направляют на доочистку в поток сточных вод категории II (загрязненные механическими примесями и маслами).

Электрокоагуляционный метод применим для разрушения эмульсий любых типов в электролизерах с алюминиевыми электродами. Схема очистки:

- предварительное отстаивание и усреднение стоков;
- удаление осадка и свободных масел;
- подкисление до $\text{pH}=5-6$;
- обработка в электролизере с удалением пены;
- отстаивание;

- фильтрование.

Остаточное содержание масел в очищенной воде 15-20 мг/л, при необходимости дальнейшая доочистка может производиться с потоком вод II категории.

В последние годы для очистки сточных вод IV категории начали применяться *мембранные методы*, в частности, ультрафильтрация. Предварительно вода подвергается отстаиванию и фильтрованию. В очищенной воде содержание масел составляет до 15-20 мг/л, а в полученных концентратах – 150-500 мг/л.

Сточные воды V категории (шламосодержащие) выделяют в самостоятельный поток с устройством оборотной системы, подпитываемой из промышленного водопровода или очищенными водами II категории. На предприятиях, имеющих крупные литейные цеха, предусматривается централизованная оборотная система гидрошламоудаления. В мелких цехах лучше устраивать локальные очистные сооружения с возвратом воды в производство. Сточные воды, загрязненные пылью и горелой землей, направляют на шламовые площадки или в отстойники, сгустители; осветляют в гидроциклонах с предварительной подачей сернокислого алюминия и полиакриламида.

Очистка *поверхностно-дождевых стоков (VI категория)* производится в накопителях стока и на пенополиуретановых фильтрах. Накопители оборудуют устройствами для удаления осадков и нефтепродуктов, перед ними устанавливают решетки. После очистки дождевые стоки целесообразно подавать на повторное использование в производство и на подпитку систем оборотного водоснабжения.

Контрольные вопросы

1. Категории стоков предприятий машиностроения
2. Методы очистки стоков от механических примесей и масел, варианты технологических схем

3. Реагентная очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов
4. Замкнутая схема регенерации никельсодержащего электролита из промывных вод гальванических производств
5. Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов биохимическим методом
6. Очистка отработавших СОЖ

7 ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД МОЙКИ АВТОТРАНСПОРТА

7.1 Обратное водоснабжение для моек автотранспорта

Технологии очистки, обеспечивающие возврат воды в оборотный цикл, экономят средства и способствуют охране окружающей среды. Мойки транспорта до сих пор используют чаще всего воду питьевого качества, а стоки сбрасывают в городскую канализацию или на рельеф местности. Поэтому переход на обратное водоснабжение с *замкнутым циклом актуален*.

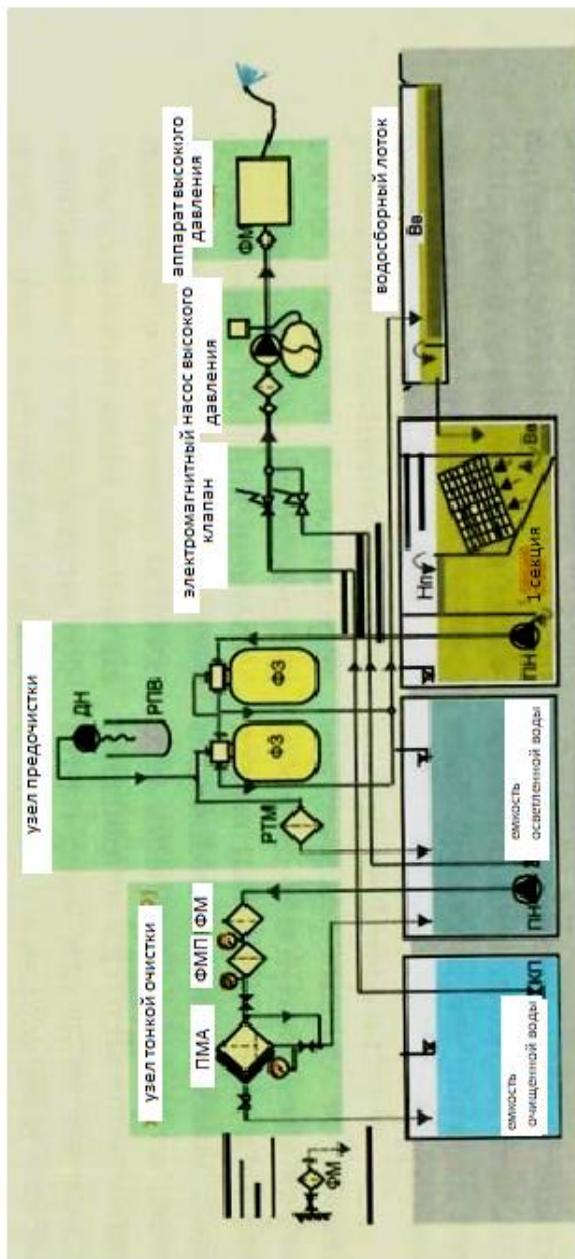
В процессе мойки транспорта можно выделить два этапа: *помывка* и *ополаскивание*. Вода для помывки должна содержать взвешенных веществ $C_{взв} \leq 30$ мг/л, нефтепродуктов $C_{н/пр} \leq 5$ мг/л; вода для ополаскивания должна быть питьевого качества. Поэтому воду для помывки достаточно подвергать отстаиванию и фильтрованию, а для ополаскивания использовать физико-химические или химические способы очистки (адсорбцию, электрофлотацию, микро- и ультрафильтрацию). Особого внимания заслуживают *мембранные процессы* с использованием плоскосторонних мембранных аппаратов (ПМА), выпускаемых в виде типовых модулей 50x50x50 см. Они компактны, просты в обслуживании, экономичны, рассчитаны на производительность $Q \geq 3$ м³/ч.

Система очистки с использованием мембранного аппарата включает *две степени*:

- 1) *узел предочистки* (фильтры с песчаной и шунгитовой загрузкой) – вода для смачивания и основной мойки;
- 2) *узел тонкой очистки* (мембраны ПМА) – вода для ополаскивания.

Кроме того, в систему очистки входят: узел повышения давления, резервуары приема стоков и накопления очищенной воды.

Технологическая схема водоочистки оборотной системы мойки транспорта приведена на рисунке 20.



Принятые сокращения

ПН - погружной насос
 ДН - дозирующий насос
 ФМ - фильтр механический
 РТМ - фильтр картриджный
 ФЭ - фильтр засыпной

РПВ - растворперекиси водорода
 Вв - взвешенные вещества
 Нлп - нефтепродукты
 ФМП - фильтр-маслопоглотитель
 ПМА - плоскокамерный мембранный аппарат

Рисунок 20 – Технологическая схема оборотной водоочистной системы транспорта

Грязная вода по уклонам бетонного покрытия пола моечных отделений стекает в водосборные лотки, в которых происходит осаждение крупных частиц взвесей (Вв). Далее вода попадает в емкость для приема стоков, где в отстойной части размещен *тонкослойный блок*, здесь происходит дальнейшее отделение взвешенных веществ и нефтепродуктов (Нп).

Погружным насосом (ПН) вода подается на *узел предварительной очистки*, состоящий из *фильтров засыпных* (ФЗ) с кварцевым песком различной крупности и шунгитом. Для дезинфекции в осветленную воду дозирующим насосом (ДН) подается раствор на основе пероксида водорода (РПВ). Очищенная вода после дезинфекции, пройдя картриджный фильтр (РТМ), поступает в резервуар осветленной воды и используется для *смачивания* и *помывки*. Линия подачи воды на помывку включает электромагнитный клапан (ЭМК), насос повышенного давления (НПД), механический фильтр (ФМ) и аппарат высокого давления (АВД), из которого вода под давлением подается непосредственно на моечный аппарат.

Для *тонкой очистки* воды из емкости осветленной воды погружным насосом (ПН) через *фильтр механический* (ФМ) подается на *фильтр-маслопоглотитель* (ФМП), заполненный модифицированной целлюлозой. В фильтрах происходит отделение нефтепродуктов и очистка от механических примесей размером до 5 мкм. Далее вода поступает на *плоскорамный мембранный аппарат* (ПМА), где осуществляется тонкая очистка на ультрафильтрационных мембранах. Фильтрация происходит из тангенциального потока, когда вода проходит через мембрану перпендикулярно направленного потока очищаемой воды. Фильтрат идет в секцию очищенной воды, а ретант, не прошедший через мембрану, непрерывно смывает загрязнения с рабочей поверхности (самоочистка) и выводит концентрированный раствор из ПМА, который самотеком возвращается в резервуар осветленной воды для последующей очистки.

Фильтрат из резервуара осветленной воды насосом повышенного давления (НПД) подается на моечный аппарат для ополаскивания автотранспорта. Концентрации примесей в очищенной воде не превышают: $C_{взв} = 1,0-5,0$ мг/л, $C_{н/пр} = 0,1-0,5$ мг/л.

Оборудование рассмотренной схемы имеет незначительные размеры, поэтому возможны различные варианты его размещения: в капитальном помещении, в быстровозводимых сборно-разборных конструкциях, в мобильных контейнерах в наземном и подземном размещении. Емкости могут изготавливаться из железобетонных конструкций, в металле или пластике. Рассмотренный вариант очистки можно использовать для моек любого транспорта – от автомобилей до поездов метрополитена и железнодорожных составов.

7.2 Установка для очистки сточных вод от моек автомобилей

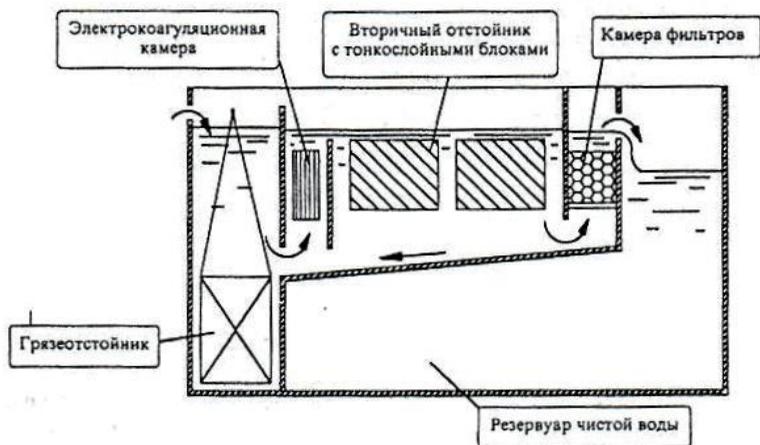
Для очистки производственных сточных вод специфического состава небольшой производительности (до 1000 м³/сут) часто используются специальные комплексы локальной очистки. Они представляют собой оборудование различного назначения, функционально связанного между собой, позволяющего создать нестандартные очистные сооружения. Компактная установка в комплексе мойки автомашин представляет собой резервуар (рисунок 21), который состоит из четырех крупноблочных элементов.

1. *Грязеотстойник* (приемная камера), в ней удаляются тяжелые минеральные примеси.

2. *Электрокоагуляционная камера*, в которой происходит очистка от тонкодиспергированных механических частиц и нефтепродуктов.

3. *Отстойник с тонкослойными блоками*, в нем происходит отстаивание хлопьев, образовавшихся в электрокоагуляторе.

Осадок выпадает на наклонное днище и сползает в грязеотстойник, который периодически поднимается вверх для удаления накопившегося шлама.

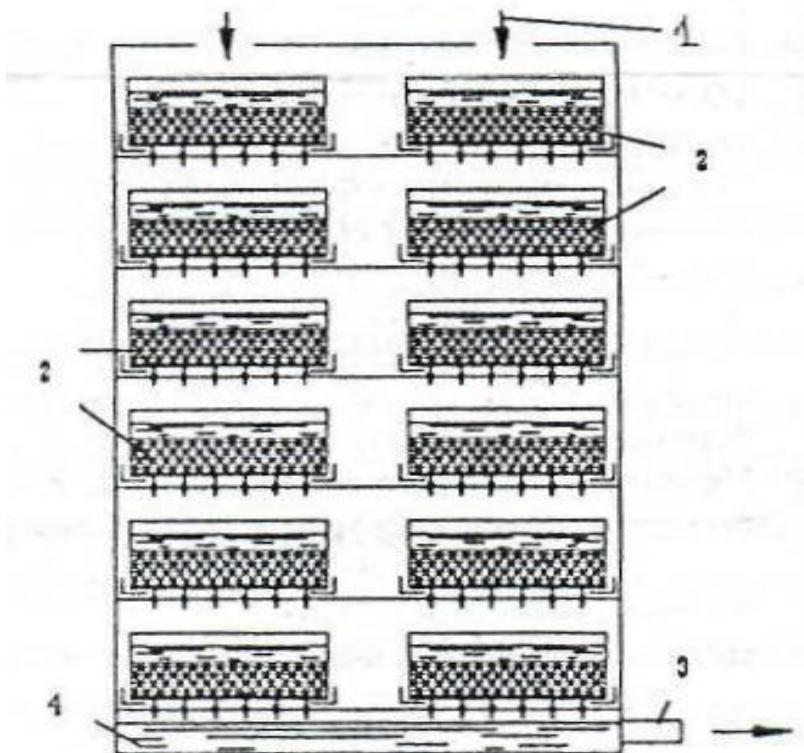


1 - грязеотстойник; 2 – электрокоагуляционная камера;
3 – вторичный отстойник с тонкослойными блоками; 4 – камера фильтров; 5 – резервуар очищенной воды

Рисунок 21 – Установка для очистки сточных вод от моек автомобилей

4. *Камера фильтров* (шестиступенчатая) (рисунок 22), для глубокой очистки воды, представляет собой две параллельные линии по 6 ступеней каждая. Внизу располагается поддон для очищенной воды.

Установка может использоваться для очистки сточных вод на АЗС, автомобильных стоянках, от мойки машин и поверхностного стока.



1 – подача воды на доочистку; 2 – ступень фильтра с загрузкой;
 3 – отвод очищенной воды; 4 – поддон для сбора очищенной воды

Рисунок 22 – Шестиступенчатый фильтр

Контрольные вопросы

1. Обратное водоснабжение для моек автотранспорта
2. Схема водоочистки оборотной системы автотранспорта
3. Компактная установка мойки автомашин

8 НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

8.1 Выбор эффективного решения по очистке сточных вод

Очистка сточных вод – многогранная технологическая задача как при выборе технологии, так и при ее использовании. Очистные сооружения сточных вод представляют собой сложную технологическую систему, которая не обладает четко выраженными характеристиками. Для повышения эффективности очистных сооружений необходимо проводить работу по их совершенствованию.

Этот процесс должен осуществляться на принципах наилучших доступных технологий (НДТ), который начал осуществляться в России с 2014 г., когда был принят Федеральный закон от 21.07.2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в федеральный закон «Об охране окружающей среды».

Структурные изменения на предприятии делятся на три группы:

- 1) технологические;
- 2) организационно-технические;
- 3) природоохранные.

Рассмотрим технологические мероприятия, которые ведут к изменению, усовершенствованию и внедрению новой технологии. Доработка или модернизация используемых технологий проводится путем усовершенствования (модернизации) технологических процессов и оборудования.

При выборе технологии водоочистки нужен сбор достоверных данных по объекту, в том числе информация по существующим аналогичным объектам. В рамках технологического аудита могут быть проанализированы следующие параметры:

- 1) динамика расхода сточных вод в различные временные отрезки (средние, минимальные, максимальные);
- 2) динамика качественного состава поступающих сточных вод, ее изменчивость;
- 3) технологические параметры действующих сооружений;
- 4) состояние сооружений, эффективность очистки, возможные направления совершенствования.

Информация по действующим объектам необходима при проектировании новых сооружений и модернизации существующих. Для нестандартных сточных вод следует проводить поверочные расчеты и пилотные испытания с целью поиска оптимальных решений для конкретных ситуаций. Подобный подход позволит сократить экономические и экологические риски, исключить выбор неэффективного решения, даст возможность максимально использовать технологические резервы и сократить затраты на реновацию.

Выбор сооружений необходимо проводить на основе анализа технологических решений, основные параметры которых даны в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры при выборе технологического решения по водоочистке

Параметр	Наличие проблемы	Негативные последствия
1	2	3
Соответствие исходных и проектных данных по расходам, нагрузкам, составу	Отличие проектных параметров от фактических или требуемых	Недостаточная эффективность очистки
Корректность выбранной технологической схемы	Необходимость технологических узлов по удалению определенных видов примесей, обеззараживанию, утилизации осадка	Выход из строя оборудования, недостаточная эффективность очистки

Продолжение таблицы 2

1	2	3
Наличие требуемых технологических рециклов	Например, при биологической очистке циркуляция активного ила	Нарушение технологического процесса, снижение эффективности очистки
Наличие необходимого оборудования и его резервирование	Отсутствие оборудования для вспомогательных процессов или резервирование для основных	Снижение эффективности работы сооружений или риск остановки всей технологической цепочки
Логичность трубопроводной обвязки оборудования	Значительные различия дублирующих систем	Уменьшение производительности, увеличение энергопотребления
Доступность технологических узлов	Недостаточность доступа к оборудованию и узлам управления	Риск не настроить сооружения на необходимые параметры эксплуатации

Сложность выбора заключается в большом многообразии решений, которые имеют схожие параметры и эффективность, но на практике оказываются малоэффективными. Инновационные технологии хороши, но не всегда срабатывают при очистке сточных вод. Приходится проводить пилотные испытания на конкретных стоках или выбирать проверенные временем технические решения.

При эксплуатации оборудования важно определить точки оптимизации, например, сокращение расходов на реагенты, снижение энергозатрат на работу оборудования. Модернизация действующих очистных сооружений не всегда требует масштабных работ. Иногда для повышения эффективности достаточно скорректировать технологические параметры работы оборудования.

В качестве примера совершенствования работы очистных сооружений рассмотрим реновацию малоэффективной технологии с биологической очисткой небольшой производительности. На реальных сооружениях процесс проводился в три этапа.

На первом этапе дефицит объемов биологической очистки осуществлялся переводом установки с использованием только биопленки на работу с комбинированным биоценозом. Организация рецикла возвратного ила из вторичного отстойника в первичный и монтаж в нем системы аэрации, наращивание дозы ила в аэротенках, работа с комбинированным биоценозом (биопленкой и активным илом) позволили увеличить эффективность биологической очистки.

На втором этапе монтаж системы аэрации в приемных резервуарах вместо механического перемешивания позволил использовать их в качестве первой ступени биологической очистки. Рециркуляция ила из вторичного отстойника в аэротенк, а избыточного в первичный отстойник наряду с аэрацией в приемном резервуаре позволили получить двухступенчатую схему биологической очистки. Это привело к глубокой нитрификации и частично денитрификации, что стабилизировало процесс очистки.

На третьем этапе осуществлялась последовательная работа технологических линий. Приемные резервуары стали работать на первичном этапе биологической очистки. После них технологические линии подключались последовательно: первая с комбинированным биоценозом (биопленка и активный ил), вторая – только биопленка, с отдельными вторичными отстойниками на каждой линии. Была модернизирована биоагрузка.

Указанные мероприятия позволили проводить глубокую нитрификацию, предотвратить вынос активного ила из вторичного отстойника с очищенной водой ввиду его отсутствия

на второй технологической линии. Была оптимизирована доза коагулянта, введены в работу фильтры доочистки.

Проведенная модернизация существующей технологической схемы позволила достичь стабильной и глубокой очистки воды.

Имеющийся рынок очистных сооружений предлагает широкий спектр решений. При выборе оборудования необходимо пользоваться достоверными исходными данными, проводить первичный критический анализ предлагаемых решений, а иногда пилотные испытания. Повысить эффективность работающих сооружений можно за счет реновации. Это позволит использовать имеющиеся технологические резервы, сократить экологические риски при оптимальных экономических затратах.

8.2 Новая технология очистки поверхностных стоков на компактной установке

Технологии очистки небольших объемов стоков постоянно совершенствуются в соответствии с запросами потребителей. Создаются установки, которые занимают небольшие площади, не требуют подвода электроэнергии, высококвалифицированного обслуживающего персонала. Они могут быть использованы для очистки поверхностных (ливневых и талых) вод, сточных вод селитебных территорий и промплощадок от взвешенных веществ и нефтепродуктов. Предложенная технология очистки включает четыре основных узла (рисунок 23).

1. *Приемный колодец*, выполняющий функцию песколовки.
2. *Распределительную камеру (РК)* с корзиной для сбора мусора.
3. *Узел дозирования флокулянта* (под корзину РК). Дозирование флокулянта осуществляется пропорционально без использования дозирующего насоса. Подобранный флокулянт кроме стабилизирующего оказывает гидрофобизирующее действие, в результате чего увеличивается олеофильность

(способность сорбировать и накапливать нефтепродукты) суспендированных и дисперсных частиц. В результате уменьшается нагрузка на основной блок очистки и увеличивается срок его службы.

4. *Блок очистки (БО) с мультислойной загрузкой*, которая обеспечивает постадийное удаление взвешенных веществ, эмульгированных и растворенных нефтепродуктов. БО включает три зоны по ходу движения воды:

1) *тонкослойное отстаивание* в фильтрующем материале из цилиндрических колец, которые также обеспечивают равномерное распределение потока воды по сечению аппарата; слой загрузки работает как тонкослойные элементы (при угле наклона в $(30-70)^\circ$, а свободный объем внутри цилиндров выполняет роль осадкоуплотнителя;

2) *удаление эмульгированных и части растворенных нефтепродуктов* в слое полимерной загрузки, обладающей высокой сорбционной емкостью;

3) *финишная доочистка*, при которой удаляются растворенные нефтепродукты; слой доочистки является комбинированным и включает в себя два слоя, один из которых содержит специальные нефтеокисляющие бактерии, а второй – активированный уголь, с помощью которого происходит доочистка воды.

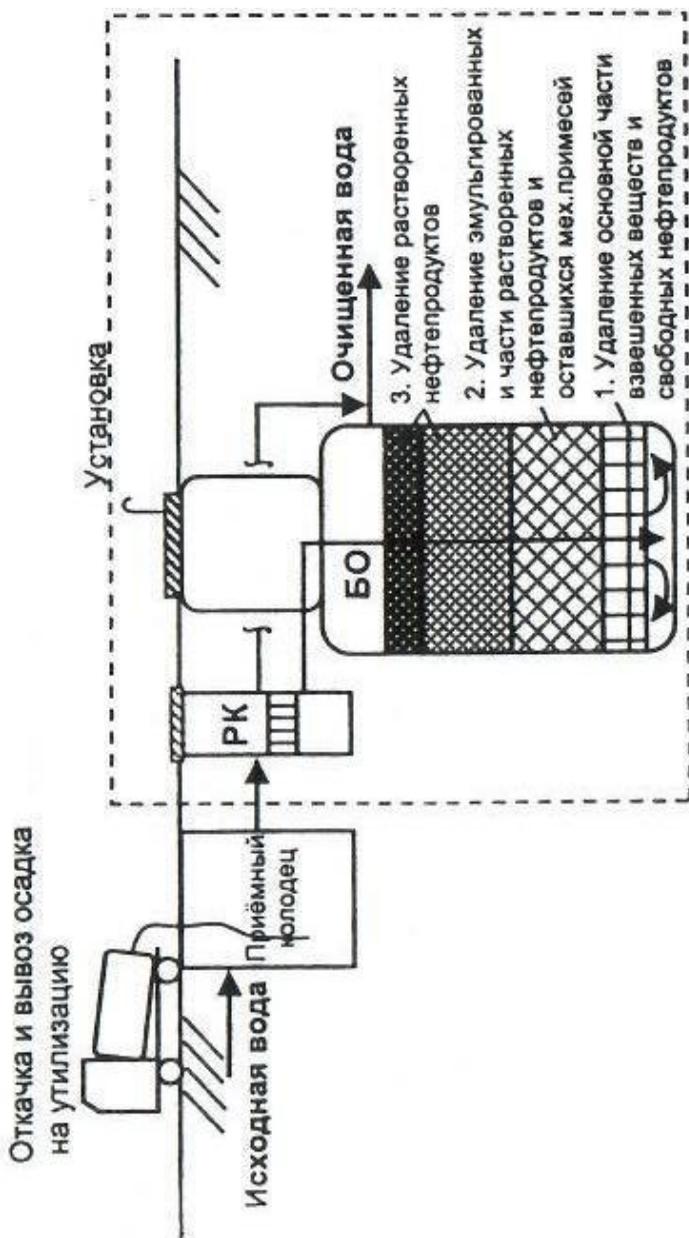


Рисунок 23 – Схема очистки поверхностных стоков

Установка изготавливается из высокопрочного полимера, исключающего коррозию оборудования, размещается подземно и работает в автономном непрерывном режиме.

Для доочистки производственных и поверхностных сточных вод одним из наиболее перспективных направлений является использование мембранных технологий, в частности мембранных биореакторов (МБР). Разрабатываются новые типы ультрафильтрационных (УФ) или микрофильтрационных (МФ) мембранных блоков на основе полуволокнистых мембран. Их можно использовать, в частности, для разделения активного ила в процессах биологической очистки сточных вод. При этом существенно интенсифицируется процесс биологической очистки за счет увеличения концентрации активного ила и, следовательно, окислительной мощности очистных сооружений. Использование МБР позволяет сократить площади очистных сооружений, т.к. мембранная доочистка заменяет вторичное отстаивание, фильтрование и частичное обеззараживание.

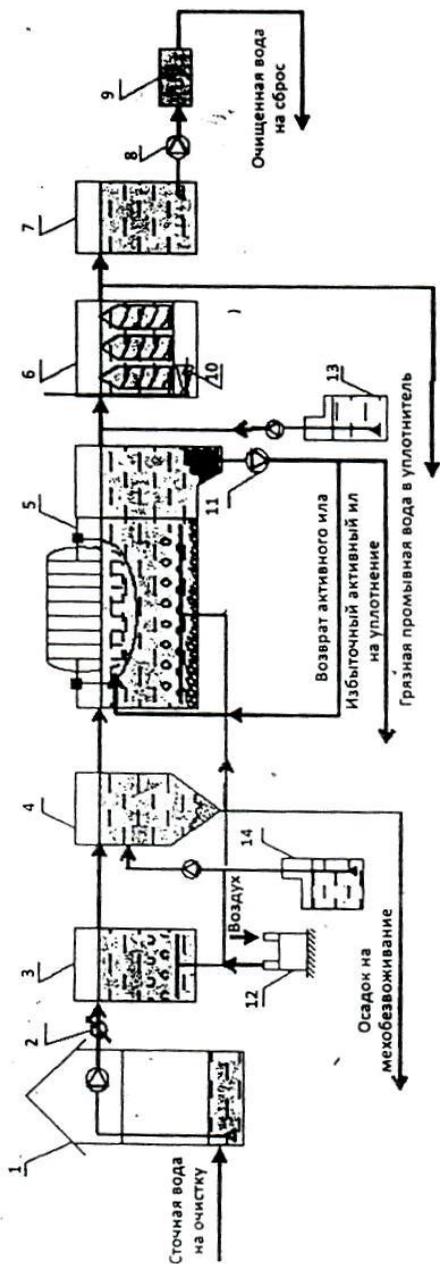
8.3 Локальные очистные сооружения с использованием биофильтров

Для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод в районе жилых застроек, а также на ряде промышленных предприятий используются *локальные очистные сооружения (ЛОС)*. На них реализуются методы очистки с использованием *биофильтров*. На Новоуренгойском газохимическом комплексе осуществляется очистка бытовых стоков на ЛОС с использованием биофильтра с вращающимися роторными барабанами (рисунок 24). Здесь реализован метод биологической очистки, сочетающий *анаэробные* и *аэробные* процессы и позволяющий применять технологию нитри- денитрификации. Она представляет собой биологический метод очистки сточных вод от соединений азота. Нитрификация является совокупностью реакций биологического окисления нитрифицирующими бактериями аммонийного азота

до нитритов, а потом до нитратов – аэробный процесс. Денитрификация – это процесс восстановления нитритов и нитратов в анаэробных условиях под действием денитрифицирующих гетеротрофных микроорганизмов до свободного азота, который выделяется в атмосферу. При этом связанный кислород отщепляется от нитритов и нитратов и вновь расходуется на окисление органических веществ до CO_2 и H_2O .

Сточная вода через насосную станцию 1 поступает в бак гашения напора 3, где осуществляется предварительная аэрация воздуходувкой 12 через систему мелкопузырчатой аэрации. Предварительное насыщение воды кислородом позволяет эффективно проводить процесс нитрификации (окисление аммонийного азота до нитратов) с помощью хемоавтотрофных аэробных бактерий в аэробных условиях. Из бака гашения напора вода направляется в песколовки 4, куда для нормализации условий протекания нитрификации осуществляется дозирование щелочного реагента из комплекса 14 до $\text{pH}=7,8-8,6$.

Далее сточная вода поступает в ЛОС на базе биофильтров 5. ЛОС представляет из себя *анаэробную зону* с помещенным в нее *биофильтром* с вращающимися роторными барабанами и *зону отстаивания*. *Анаэробная зона* оборудована системой мелкопузырчатой аэрации, воздух на которую подается воздуходувкой 12. Аэрационная система размещена таким образом, чтобы обеспечить соблюдение кислородного режима по всей длине зоны со снижением интенсивности аэрации в конце коридора.



1 – канализационная насосная станция; 2 – расходомер; 3 – бак гашения напора; 4 – песколовка; 5 – биофильтр; 6 – блок доочистки; 7 – бак чистой воды; 8 – насосы чистой воды; 9 – установка УФ-обеззараживания; 10 – эжектор; 11 – насосы осадка; 12 – воздуходувка; 13 – дозирующий комплекс коагулянта; 14 – дозирующий комплекс щелочного реагента

Рисунок 24 – Технологическая схема ЛЮС с использованием биофильтров

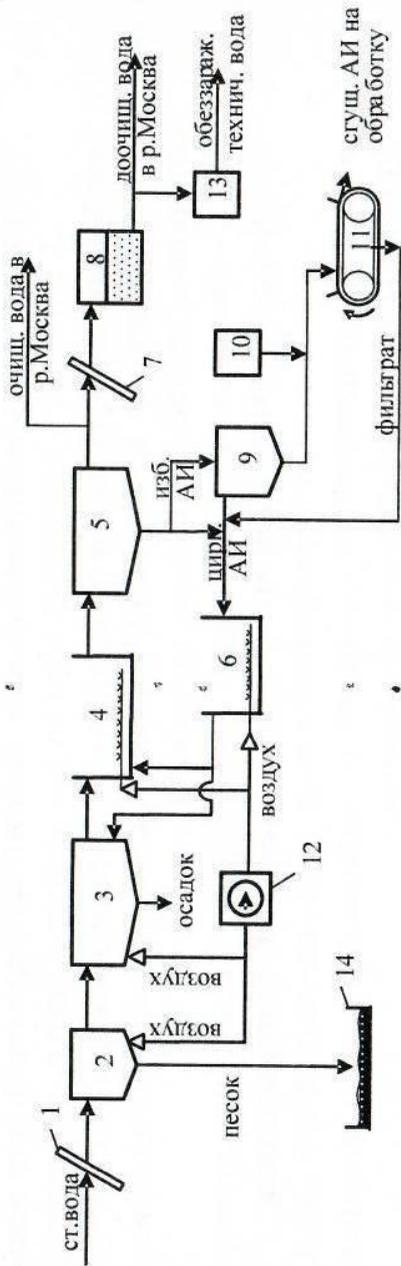
Биофильтр представляет из себя *барабаны, укрепленные на вращающемся роторе*. Проходящий поток воды смывает с поверхности барабанов избыточную биопленку, которая осаждается в отстойной зоне ЛОС и откачивается с помощью насосов осадка 11 двумя потоками. Один из них в виде возвратного активного ила возвращается в биофильтр, другой как избыточный активный ил направляется на уплотнение.

Доочистка воды происходит на *фильтрах* с ершовой загрузкой 6. Перед этим в осветленные стоки осуществляется дозирование алюминиевого коагулянта из комплекса 13, что позволяет снизить содержание биогенного фосфора. Регенерация фильтров осуществляется подачей воды через эжектор 10, грязная промывная вода отводится в уплотнитель. Очищенная вода собирается в баке чистой воды 7, откуда насосами 8 перекачивается на обеззараживание ультрафиолетовыми бактерицидными лампами на установке 9.

Реконструкция позволила получить нормативное качество очищенной воды по содержанию азота и фосфора, оптимизировать работу локальных сооружений биологической очистки при минимальных изменениях конструкции и финансовых затратах.

8.4 Реконструкция Курьяновских очистных сооружений

Курьяновские очистные сооружения (КОС) – крупнейший в Европе комплекс по очистке городских сточных вод. Они представляют из себя районную схему водоотведения и совместной очистки производственных и бытовых сточных вод. Сооружения располагаются в излучине Москвы-реки и включают в себя три самостоятельно функционирующих блока очистки: старую станцию (КОС_{ст}), 1-ый блок Новокурьяновских очистных сооружений (НКОС-1) и 2-ой блок Новокурьяновских очистных сооружений (НКОС-2). Суммарная проектная производительность более 3 млн. м³ сточных вод в сутки. Технологическая схема очистных сооружений КОС приведена на рисунке 25.



1 – решетка; 2 – песколовка; 3 – первичный радиальный отстойник; 4 – аэротенк; 5 – вторичный радиальный отстойник; 6 – регенератор; 7 – плоское щелевое сито; 8 – плоское щелевое сито; 8 – скорый фильтр; 9 – илоуплотнитель избыточного активного ила; 10 – узел приготовления раствора флокулянта; 11 – гравитационный ленточный сгуститель; 12 – воздуходувная станция; 13 – сооружение по обеззараживанию технической воды; 14 – песковые площадки

Рисунок 25 – Технологическая схема очистки сточных вод Курьяновской станции аэрации

Бытовые и производственные стоки через механизированные решетки 1 с прозорами 6-10 мм с непрерывно двигающимися скребковыми механизмами поступают на песколовки 2 для удаления тяжелых минеральных примесей. Песок обезвоживается на песковых площадках 14. В песколовки подается воздух для лучшего отделения минеральных примесей от органических.

После песколовок вода направляется на первичные радиальные отстойники 3. На НКОС-1 работают 6 отстойников диаметром 54 м с встроенными в центральной части преаэраторами, продолжительность отстаивания 1,5-2 часа. После первичного отстаивания из сточных вод изымаются примерно 60 % исходных органических соединений.

Биологическая очистка осуществляется в восьми четырехкоридорных аэротенках-вытеснителях 4 с пневматической системой аэрации через фильтросные пластины. После реконструкции для подачи воздуха используются три воздуходувные машины, находящиеся на воздуходувной станции 12, производительностью около 800 тыс. м³/сут мощность каждой 1,2 МВт.

Для разделения активного ила и воды служат 8 вторичных радиальных отстойников 5 диаметром как и первичные 54 м, в перспективе количество отстойников будет увеличено до 12. После вторичных отстойников часть очищенной воды может быть направлена в р. Москву, а до 30 % этой воды подвергается доочистке на плоских механизированных щелевых ситах 7 и зернистых фильтрах 8. Щелевые сита сборной конструкции (5 сдвоенных сит) с прозорами размером 1,4 мм были поставлены вместо барабанных сеток и позволили увеличить производительность в 3 раза. Часть доочищенной воды подвергается УФ обеззараживанию в сооружении 13, после чего может быть использована как техническая.

Активный ил со дна вторичных отстойников собирается системой илососов, когда вращающийся по дну отстойника трубопровод под гидростатическим давлением засасывает в себя ил.

Активный ил из вторичных отстойников делится на два потока. Циркулирующий ил идет на регенерацию в регенератор

б и далее одна часть его поступает в преаэратор первичного отстойника 3, а другая – непосредственно в аэротенк 4.



Рисунок 26 – Реконструированный первичный отстойник НКОС-1

Ранее избыточный активный ил из отстойника направлялся в илоуплотнитель 9, откуда после добавления в него флокулянта из 10, поступал на ленточный гравитационный сгуститель 11. Фильтрат из сгустителя смешивался с циркулирующим активным илом. В рамках модернизации указанные морально устаревшие сооружения выведены из эксплуатации, вместо них установили обезвоживающие центрифуги.

Сгущенный избыточный ил вместе с осадком из первичного отстойника идет на сбрасывание в заглубленные метантенки диаметром 24 м из монолитного железобетона, работающие в термофильном режиме. Выделившейся при брожении газ, отводится в местную котельную.

В настоящее время реализованные ранее на станции проектные решения устарели и не позволяют выполнять жесткие требования к качеству очищенных сточных вод. КОС изначально строились открытыми, что приводит к появлению специфических неприятных запахов.

Реконструкцию начали с НКОС-1, бетонные конструкции которого были наиболее изношены. Полностью реконструированы 8 аэротенков, 12 отстойников, подводящие и отводящие каналы. Так как очистные сооружения находятся вблизи жилой застройки, очень остро стояла проблема ликвидации неприятных запахов от них. Поэтому было принято решение о перекрытии всех открытых поверхностей и сооружений.

Изучение зарубежного опыта применения различных конструктивных решений перекрытия отстойников показало наличие трех вариантов: купольные, плоские неподвижные и вращающиеся перекрытия. Анализ этих вариантов позволил предложить оригинальную конструкцию перекрытия первичных отстойников, не имеющую мировых аналогов (рисунок 26).

Плавающее перекрытие держится на воде, оно состоит из трех колец – центрального, среднего и периферийного, ему не требуется массивная несущая конструкция. Перекрытие изготовлено, смонтировано и испытано в производственных условиях.

Центральное кольцо неподвижно закреплено на центральной опоре, периферийное прикреплено к борту отстойника. Среднее кольцо перекрытия плавает на поверхности воды, соединено с фермой илоскреба и вращается вместе с ней концентрично центральному и периферийным кольцам. Окружности центрального и периферийного колец перекрытия расположены внахлест относительно плавающего, незначительный зазор между ними закрывается с помощью оригинального щеточного уплотнения.

Под внешним кольцом находятся водосливы и лотки, как на вторичных отстойниках, но только здесь они скрыты. Кольца перекрытия вторичных отстойников состоят из небольших, имеющих малый вес секций, монтируются непосредственно на отстойнике, что не требует усиления строительных конструкций, а также использования мощного грузоподъемного оборудования для монтажных работ. Плавающая часть перекрытия монтируется без опорожнения отстойника, непосредственно с поверхности воды (рисунок 27).

Вращающиеся сегменты полые внутри, сварены из нержавеющей стали. Данные перекрытия в зимний период выдерживают снеговую нагрузку, а т.к. они выполнены из теплопроводного материала, то скопившийся на перекрытии снег тает за счет тепла сточных вод.

Главное преимущество рассмотренных перекрытий перед зарубежными аналогами в возможности проведения ремонтных работ установленного внутри отстойника оборудования без полного демонтажа перекрытия.

В результате реализации указанных мероприятий на территории КОС снизилась концентрация в воздухе по аммиаку в 23 раза, по сероводороду – в 20 раз, по метану в 2 раза.

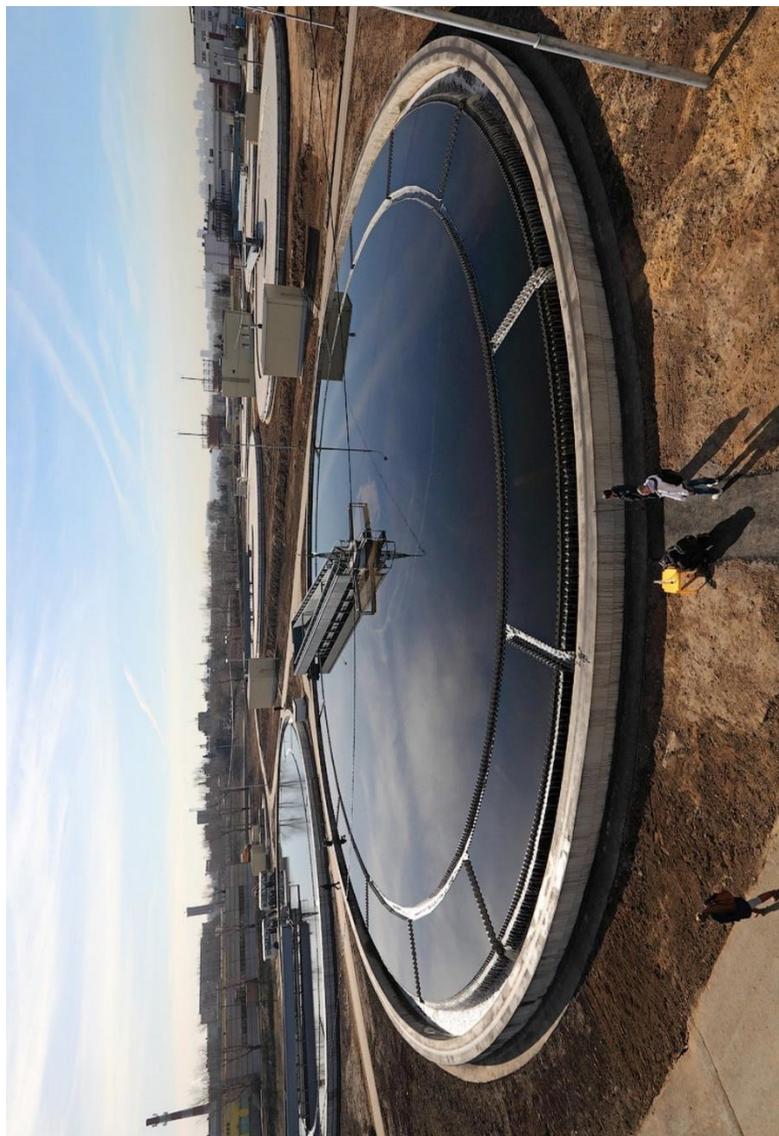


Рисунок 27 – Реконструированный вторичный отстойник НКОС-1

Реконструирован блок подачи воздуха в аэротенки, позволивший интенсифицировать процесс аэрации. Во вторичные отстойники установлена новейшая система сбора осадка с помощью илососов. После сбраживания в метантенках органического осадка полученный биогаз сжигается на специальной мини-ТЭЦ, она вырабатывает более 50 % энергии, необходимой для работы КОС. Ее мощности в 10 МВт хватает НКОС-1, КОС_{ст} и вспомогательным сооружениям.

Очищенная вода отводится на ультрафиолетовое обеззараживание (УФ). Специально для проекта реконструкции НКОС-1 были разработаны вертикальные модули с УФ-лампами в защитных кварцевых чехлах (уникальные амальгамные лампы низкого давления высокой мощности). Лампы располагаются в потоке воды, обтекающем их со всех сторон, обеспечивая равномерное распределение дозы облучения во всем объеме воды. Блок УФ-обеззараживания состоит из 8 каналов, в каждом из которых расположено по 4 последовательно работающих секции. Общее количество ламп в блоке составляет 2304 шт.

Технологический процесс полностью автоматизирован, вся информация о работе сооружений передается на центральный диспетчерский пункт. Качество сбрасываемых в Москву-реку вод соответствует требованиям СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод».

8.5 Современные биолого-химические очистные сооружения – проект внедрения НДТ

Технологические решения биолого-химических очистных сооружений (БХО) предназначены для очистки как промышленных и ливневых стоков, содержащих значительное количество аммонийных и других азотсодержащих соединений, так и хозяйственно-бытовых сточных вод. Предложенная технология позволяет достичь глубокой степени очистки и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду путем повторного использования очищенных вод в технологических циклах предприятия и может быть отнесена к наилучшим доступным технологиям (НДТ). Использование очищенной воды для подпитки водооборотных циклов и химводоочистки позволяет перерабатывать азотные соединения биологическим способом.

Технологическая схема состоит из трех основных стадий: механической, биологической и третичной очистки (рисунок 28).

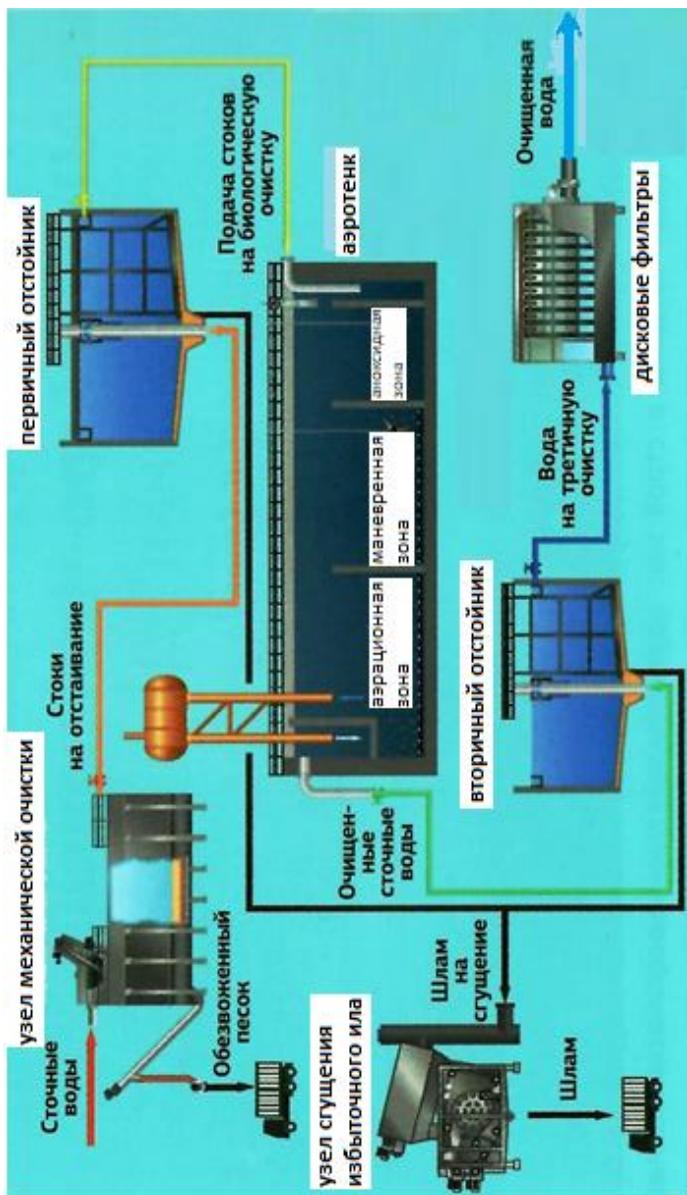


Рисунок 28 – Технологическая схема биолого-химических очистных сооружений

Для стабильной работы очистных сооружений перед технологической схемой предусмотрен аварийно-регулирующий резервуар, который обеспечивает равномерность поступающих стоков и усредняет их по составу.

Первая стадия – механическая очистка

Узел механической очистки представляет из себя блок трех гидравлических многоступенчатых решеток с прозорами 5 мм и аэрируемые горизонтальные песколовки с гидравлическими прессами для обезвоживания осадка. Данное решение позволило уменьшить нагрузку на первичные отстойники, исключить песковые площадки, снизить объем сырого осадка. Далее вода направляется в *первичные радиальные отстойники*. Отстойники оснащены плавающими крышками, что снижает испарение с их поверхности и предотвращает появление неприятных запахов. Осадок из первичных отстойников и избыточный ил из вторичных подаются в узел сгущения избыточного ила для обезвоживания на *ленточных фильтрах*.

Вторая стадия – биологическая очистка

После механической очистки сточные воды направляются на биологическую очистку в *аэротенки*. Для повышения эффективности биологической очистки реализован ряд инновационных решений.

Применены две технологические линии аэротенков с выделенными *аноксидными, аэрационными и маневренными зонами*. По ходу движения воды первой расположена аноксидная зона, затем маневренная и аэрационная. Средняя маневренная может работать как зона нитри-, денитрификации, так и дефосфотизации, что позволяет производить эффективную очистку от соединений азота, фосфора и органических веществ при значительном колебании входного потока. Фосфор удаляется за счет дозирования коагулянта в зону денитрификации. Использование *мелкопузырьчатых аэраторов* и современных воздушодувков позволило снизить энергозатраты.

Аммиак эффективно удаляется в аэробной зоне нитрификации, а образовавшиеся при этом нитриты и нитраты идут в зону денитрификации, работающую в анаэробных условиях, где происходит их конверсия и образуется дополнительная щелочность, снижающая расход щелочного реагента и содержание органических загрязнений перед проведением нитрификации.

После биологической очистки иловая смесь подается на *установку дегазации*, где она вакуумируется в течение 10-20 с для удаления газов, в результате чего хлопья приобретают более плотную структуру, что улучшает процесс их седиментации во *вторичном отстойнике*.

Увеличивается эффективность денитрификации, на (20-25) % снижается иловый индекс и содержание взвешенных веществ после вторичного отстойника. Предложенная технология позволяет повысить концентрацию ила в аэротенке до 4-6 г/л без риска его выноса.

Третья стадия – третичная очистка

После биологической очистки вода, отделенная от активного ила во вторичном отстойнике, направляется на современные *дисковые фильтры* с размерами ячеек сеток 10 мкм. При этом отсутствует реагентная обработка, промывка осуществляется автоматически, расход воды на промывку не более 1 %.

Вода с дисковых фильтров подается на установку УФ-обеззараживания, после чего возвращается на подпитку водооборотных циклов. Очищенная вода может быть использована в технологических циклах производства аммиака, карбамида, аммиачной селитры. Таким образом, предприятие получило действенный инструмент перехода к замкнутому водооборотному циклу.

Мощность БХО выбрана с расчетом последующего развития предприятия, со строительством новых производств на основе наилучших доступных технологий без увеличения экологической нагрузки на окружающую среду. Возможна совместная очистка производственных, бытовых и ливневых стоков.

Одним из основных аспектов при разработке проекта являлось внедрение наилучших доступных технологий, которые описаны в опубликованных информационно-технических справочниках (ИТС). Для рассматриваемого объекта применяется ряд НДТ в части:

- внедрения и поддержки принципов экологического менеджмента (определение экологических приоритетов предприятия, разработка и осуществление плана действий, проведение контроля, аудита и корректирующих мероприятий);

- сокращение энергопотребления (применение энергоэффективного оборудования и оптимальных режимов его работы, использование самотечной схемы);

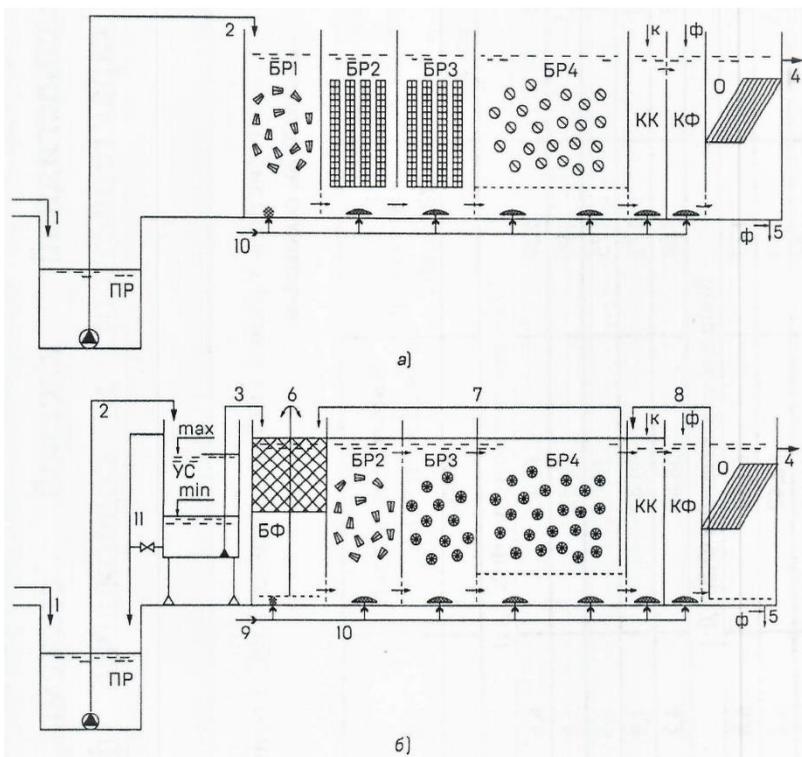
- повышения степени повторного использования сточных вод;

- использования систем канализации с отдельным сбросом поверхностных, бытовых и различных видов производственных сточных вод.

8.6 Реновация малых канализационных очистных сооружений (КОС)

Количество малых КОС (расход 100-1000 м³/сут) составляет порядка 90 % от общего числа объектов. Любые малоэффективные сооружения могут быть усовершенствованы путем доработки имеющихся, а при необходимости дополнены недостающими технологическими узлами. Однако типовые технологии чаще всего не подходят для малых водоканалов.

Рассмотрим пример совершенствования работы КОС, для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод, технологическая схема до реконструкции и после приведена на рисунке 29.



а - до проведения работ; б - после проведения работ;

БР1, БР2, БР3, БР4 - биореакторы; БФ - биофильтр; КК - камера коагуляции; КФ - камера флокуляции; О - отстойник с тонкослойными модулями; ПР - приемный резервуар; УС - усреднительная емкость;

1 - подача сточных вод от КНС; 2 - подача сточной воды насосом;
 3 - подача сточной воды на очистку эрлифтом; 4 - отвод очищенных сточных вод; 5 - отвод осадка на обезвоживание; 6 - система орошения в биофильтре; 7- внутренний рецикл; 8 - рецикл осадка;
 9 - периодическая подача воздуха; 10 - постоянная подача воздуха;
 11 - аварийный слив и опорожнение усреднительной емкости;

к - подача коагулянта, ф - подача флокулянта

Рисунок 29 – Канализационные очистные сооружения

В существующей схеме (рисунок 29, а) вода из канализационной насосной станции (КНС) направляется в приемный резервуар КОС (ПР), откуда поступает в четыре биореактора (секции) (БР1-БР4). Секции последовательно соединены придонными окнами, расположенными в шахматном порядке.

В первом и четвертом биореакторах размещена плавающая загрузка, во втором и третьем – жестко закрепленные блоки. Во всех биореакторах смонтирована система аэрации. Технология не предусматривает отдельных зон денитрификации. Прошедшая биологическую очистку вода с частицами смытой с поверхности загрузки биофильтров биопленкой поступает в камеры коагуляции (КК) и флокуляции (КФ), где смешивается с реагентами и далее подается в отстойник (О) с тонкослойными блоками, где происходит отделение биопленки от воды. Очищенная вода обеззараживается ультрафиолетом и сбрасывается в водный объект, осадок откачивается на обезвоживание в фильтрующие мешки.

Проведенный анализ работы очистных сооружений показал широкий диапазон загрязненности поступающих стоков и превышение ПДК по большинству показателей очищенной воды.

Пиковые поступления сточных вод приводят к резкому повышению уровня жидкости, их смешению из разных секций через разделительные перегородки, выносу биопленки из отстойника. Блочная загрузка во втором и третьем биореакторах забивается крупным мусором, мелкая загрузка из четвертого биореактора дробится, забивает сетки соединительных окон, попадает в отстойник и выносится из него. Работа установки идет в режиме вытеснения, без внутренней циркуляции, что приводит к пиковым нагрузкам на биоценоз. В отстойнике происходит загнивание осадка, он всплывает и повторно загрязняет очищенную воду.

Реконструированная технологическая схема приведена на рисунке 29 б.

Для равномерной нагрузки на биоценоз смонтирована усреднительная емкость (УС), из которой вода попадает на очистку эрлифтом 3. Из приемного резервуара (ПР) насос подкачивает воду при падении уровня до минимального и прекращает подачу при достижении максимального. Эрлифт всасывает воду из придонной части, что позволяет предотвратить выпадение осадка в усреднительной емкости и вынос загрузки и биопленки. Первый биореактор переоборудован в затопленный биофильтр (БФ) с рециркуляцией, а на подающем трубопроводе смонтирована сетка для удаления крупного мусора. Рециркуляция осуществляется с помощью оросительной системы (эрлифта) 6, которая забирает жидкость из придонной части и изливает ее на поверхность загрузки БФ. Это снижает количество растворенного кислорода до 0,5-1,0 мг/л и создает условия для денитрификации в толще биопленки.

Для предотвращения загнивания осадка днище биофильтра периодически аэрируется (по 5-10 мин 2 раза в сутки). Затем сточная вода проходит три биореактора (БР2-БР4) с плавающей загрузкой, которая постоянно подвергается аэрации. При этом создаются условия для окисления органических веществ и аммонийного азота, а также симультантной денитрификации внутри биопленки.

Первый биореактор, выполняющий в новой схеме роль биофильтра (БФ) заполнен крупной загрузкой в виде стационарного фильтрующего слоя, второй биореактор (БР2) – той же загрузкой в плавающем состоянии, третий и четвертый – новой плавающей загрузкой.

На базе эрлифта смонтирована внутренняя рециркуляция потока 7 и осадка 8, позволяющая предотвратить загнивание осадка, усреднить расход сточных вод и снизить концентрацию загрязнений.

Важной составляющей совершенствования КОС является разработка четкого и простого алгоритма эксплуатации очистных

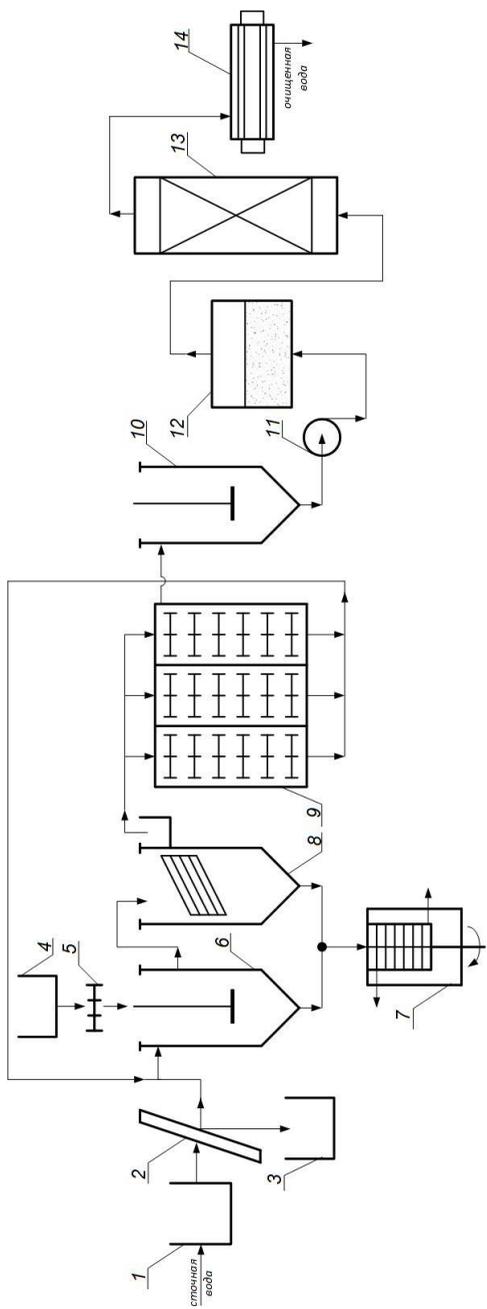
сооружений. Проведенные мероприятия позволяют повысить надежность работы станции водоочистки и ее эффективность.

8.7 Очистные сооружения ливневых стоков в г. Барнауле

Уникальные очистные сооружения ливневых сточных вод модульного типа ЛОС-35 (локальные очистные сооружения на 35 л/с) для Сибирского Федерального округа производительностью 3000 м³/сут. построены в г. Барнауле в рамках Федеральной программы внутреннего и въездного туризма. Основная цель реализации данного проекта – очистка сточных вод до норм самой высокой категории водоемов (1-й рыбохозяйственной).

Очистные сооружения расположены в пойме р. Барнаулки при впадении ее в р. Обь. Они принимают основной ливневой сток исторической части города. По ливневой канализации стоки с территории почти 27 га собираются в дождеприемные колодцы и по закрытым сетям канализации (коллекторам) направляются в накопительные подземные резервуары очистных сооружений, расположенные под землей на глубине 12 м.

На основании данных Росгидромета о значениях фоновых концентраций загрязняющих веществ, поступающих в р. Барнаулка, подобрано технологическое оборудование с соответствующими техническими характеристиками. Разработанная технология, применяемая в проекте, в том числе биологическая очистка, соответствует всем современным критериям в области очистки поверхностных сточных вод. Технологическая схема очистки приведена на рисунке 30.



1 – накопительный резервуар; 2 – решетки; 3 – контейнер для сбора мусора; 4 – емкость для приготовления растворов; 5 – дозатор; 6 – смесители-усреднители; 7 – центрифуга для обезживания осадка; 8 – многокамерный отстойник с тонкослойными блоками; 9 – биореактор «Ерш»; 10 – сборник-усреднитель; 11 – насос; 12 – микрофильтры; 13 – адсорбционные фильтры; 14 – УФ-установка

Рисунок 30 – Технологическая схема очистки ливневых стоков г. Барнаула

Ливневые и талые воды собираются в накопительном резервуаре 1 и поступают в цех механической грубой очистки на две решетки 2. Уловленные загрязнения путем гидросмыва направляются в контейнер 3 для сбора твердого мусора и вывозятся для утилизации на городской полигон ТБО. Далее стоки поступают в смеситель-усреднитель 6 с механическими мешалками, куда из емкости для приготовления растворов коагулянта и флокулянта 4 через дозатор 5 подается раствор реагентов. Затем вода направляется в многоярусный отстойник с тонкослойными блоками 8. В них улавливаются нефтепродукты и осаждаются взвеси. Осадок из смесителя-усреднителя и отстойника собирается в центрифуге 7 для обезвоживания и дальнейшей утилизации.

После механической очистки вода направляется в биореактор типа «Ёрш» 9. Очистка в нем происходит с помощью биопленки, закрепленной на загрузке, и свободно плавающим в воде активным илом. Такое сочетание биомассы позволяет достичь более высокого эффекта очистки. Через сборник-усреднитель 10 насосом 11 вода со смывтой с загрузки биопленкой поступает на отделение биомассы в микрофильтр 12. Загрузка биореактора периодически подвергается промывке, промывная вода возвращается в голову очистных сооружений.

Из микрофильтров вода подается на установку 13 в адсорберы, загруженные активированным углем. Регенерации загрузки не происходит, осуществляется только промывка очищенной водой 1 раз в 8 ч, перезагрузка угля необходима через 18 месяцев работы. Завершающий этап очистки – обеззараживание очищенной воды ультрафиолетовыми лампами 14. Далее вода выпускается в р. Барнаулка.

Все сооружения очистки располагаются в двух зданиях, в одном из них размещаются решетки и насосно-воздуходувное оборудование, в другом – основное технологическое оборудование для физико-химической (коагуляция, флокуляция, адсорбция), механической (отстаивание, микрофилтрация),

биологической (аэробный биореактор в комбинированных условиях с помощью биопленки и активного ила) очистки, а также обеззараживания (УФ-установка).

Надземная часть здания для технологического оборудования (размер в осях) - 21,0 x 15,0 м, высота 6,4 м. Подземная часть для резервуаров-накопителей сточных вод – 15,0 x 27,6 м, высота 11,24 м.

Работают очистные сооружения в автоматическом режиме, без постоянного персонала. Вся информация о состоянии работы оборудования станции, пожарной сигнализации, несанкционированного появления посторонних в здании подается на диспетчерский пункт; контролируют работу объекта бригады обслуживающей организации. Очистные сооружения работают в круглогодичном режиме за счет поступления ливневых и дренажных вод, а микрофлора в зимний период живет за счет активного ила.

Контрольные вопросы

1. Выбор технологии водоочистки на предприятии
2. Совершенствование работы очистных сооружений на примере биологической очистки
3. Технология очистки поверхностных стоков на компактной установке
4. Локальные очистные сооружения (ЛОС) с использованием биофильтров
5. Схема очистки сточных вод на Курьяновской станции аэрации
6. Реконструкция Курьяновских очистных сооружений (КОС) на примере 1-го блока Новокурьяновских очистных сооружений (НКОС-1)
7. Перекрытие первичных и вторичных отстойников на НКОС-1

8. Современные биолого-химические очистные сооружения, стадии очистки
9. Аэротенки с аноксидными, аэрационными и маневренными зонами
10. Реновация малых КОС с использованием биореакторов
11. Реконструкция биореакторов на биофильтры и реактора с плавающей загрузкой
12. Малые очистные сооружения ливневых стоков
13. Современные критерии в области очистки поверхностных стоков

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Борзенков В.Н. Обратное водоснабжение для моек транспорта // Журнал Экология производства. 2010. № 6, С. 81-83
2. Ветошкин А.Г. Инженерная защита водной среды. СПб: Изд-во «Лань», 2014. 416 с.
3. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям «Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях» ИТС 8-2022. М., Бюро НДТ, 2022. 93 с.
4. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений и городских округов» ИТС 10-2019. М., Бюро НДТ, 2019. 436 с.
5. Комарова Л.Ф., Сомин В.А. Инженерные методы защиты гидросферы. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2020. 281 с.
6. Комарова Л.Ф., Полетаева М.А. Использование воды на предприятиях и очистка сточных вод в различных отраслях промышленности. Барнаул, Изд. АлтГТУ, 2010. 174 с.
7. Комарова Л.Ф., Сомин В.А. Основы проектирования технологических процессов. Барнаул, Изд. АлтГТУ, 2013. 174 с.
8. Кулаков А.А. Реновация малых канализационных очистных сооружений // Журнал Экология производства. 2020. № 10, С. 68-77
9. Кулаков А.А. Как сделать эффективными локальные очистные сооружения // Журнал Экология производства. 2012. № 10, С. 76-85
10. Курятников Е.А. Опыт перекрытия радиальных отстойников на очистных сооружениях г. Москвы / Вода Magazine// Режим доступа: <https://watermagazine.ru/>

11. Левин Б.В., Назарова Л.Ю., Сизов Б.В. Современные биолого-химические очистные сооружения на АО «ФосАгро-Череповец» - проект внедрения НДТ // Журнал «Экология производства». 2017. № 10, С. 83-89
12. Моцарюк Н.Н., Чекмарева С.В. Реконструкция локальных очистных сооружений, работающих как биофильтры // Журнал «Экология производства». 2011. № 11, С. 72-74
13. Обадин Д.Н. Модернизация оборотных систем водоснабжения / Д.Н. Обадин, Е.А. Уласовец, Г.А. Селицкий и др. Журнал «Экология производства». 2012. № 3, с. 59-63
14. Рябчиков Б.Е. Современная водоподготовка. М.: ДеЛи плюс, 2013. 680 с.
15. Сб. статей и публикаций московского водоканала. Вып. 1. М: МГУП «Мосводоканал», 2008. 464 с.
16. Селицкий Г.А., Ермаков Д.В. Технология очистки дебалансовых вод // Журнал «Экология производства». 2011. № 11, С. 62-69
17. Сочалин О.И. Реконструкция Курьяновских очистных сооружений // Журнал «Экология производства». 2015. № 6, С. 72-77
18. Ушнурцева С.А. Очистка сточных вод: результаты внедрения новых технологий // Журнал «Экология производства. 2018. № 2, С. 48-50
19. Чуриков В.В. Безотходные технологии – будущее водоотведения // Журнал «Экология производства». 2022. № 9, С. 20-23
20. Яковлев С.А., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод. М.: АСВ, 2004. 704 с.
21. СанПиН 2.1.5.980-00 Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод
22. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания

23. СанПиН 2.1.3684-21 Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий.

Учебное издание

**Комарова Лариса Федоровна,
Сомин Владимир Александрович**

**КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ВОДНЫХ РЕСУРСОВ**

Учебник

Издано в авторской редакции

Издательство Алтайского государственного технического
университета им. И.И. Ползунова,
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46

[В начало](#)