

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
Институт естественных и точных наук  
Факультет «Химический»  
Кафедра «Экология и химическая технология»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой, д.х.н.  
\_\_\_\_\_ В.В. Авдин  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

Очистка сточных вод горно-обогатительных комбинатов

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ–18.03.01.2020.058.15,00 ПЗ ВКР

Руководитель работы, доцент  
кафедры, с.н.с., к.х.н.  
\_\_\_\_\_ К.Р. Смолякова  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

Автор работы,  
студент группы ЕТ-433  
\_\_\_\_\_ А.О. Тополук  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

Нормоконтролер, доцент кафедры,  
с.н.с., к.х.н.  
\_\_\_\_\_ К.Р. Смолякова  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

Челябинск 2020

## АННОТАЦИЯ

Тополук А.О. Очистка сточных вод горно-обогатительных комбинатов. – Челябинск, ЮУрГУ, ЕТ-433, 90 с., 8 ил., 12 табл., библиогр. список – 27 наим.

Выпускная квалификационная работа выполнена с целью модернизации технологии очистки сточных вод на очистных сооружениях промышленных сточных вод исследуемого горно-обогатительного комбината, основываясь на современных разработках.

В ходе работы произведена оценка работы уже существующих очистных сооружений промышленных сточных вод, зафиксированы превышения загрязняющих веществ: сульфатов, нитратов и тяжелых металлов.

На основе исследования предложено внедрение цикла доочистки, который заключается в извлечении загрязняющих веществ путем образования эттрингита. Выбранная технологическая схема позволяет произвести тонкую очистку до уровня концентраций ниже нормативных.

Важными преимуществами являются удаление трудно выводимых сульфатов, а также возможность удаления загрязняющих веществ разного вида в одном цикле. Рассчитаны предполагаемые концентрации после доочистки; подобрано оборудование и реагенты.

Рассмотрены требования обеспечения безопасности при работе системы доочистки; рассчитаны затраты на приобретение оборудования и эксплуатацию; проведена экономическая оценка эффективности от внедрения результатов выпускной квалификационной работы.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	10
1 ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ГОРНО – ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ	12
1.1 Источники и характеристики сточных вод .....	12
1.2 Требования, предъявляемые к сточным водам рыбохозяйственного назначения.....	17
1.3 Существующие технологии очистки сточных вод.....	20
1.3.1 Мембранный аэрированный биопленочный реактор.....	21
1.3.2 Пруды для стабилизации отходов, биологические площадки .....	24
1.3.3 Процесс биосорбция .....	24
1.4 Технология очистки сточных вод на очистных сооружениях промышленных сточных вод.....	26
1.4.1 Усреднение .....	27
1.4.2 Нейтрализация .....	28
1.4.3 Осветление.....	30
1.5 Постановка цели и задач .....	34
2 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД .....	35
2.1 Предельно допустимый сброс .....	35
2.2 Эффективность работы очистных сооружений промышленных сточных вод.....	37
2.3 Природа возникновения загрязняющих веществ и существующие методы очистки .....	39
2.3.1 Сульфаты.....	39
2.3.2 Нитраты.....	42
2.3.3 Тяжелые металлы .....	46
3 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	51

3.1 Предложения по модернизации существующих очистных сооружений промышленных сточных вод .....	51
3.2 Оценка эффективности работы цикла доочистки.....	55
3.3 Подбор аппаратурного оформления системы доочистки .....	58
4 РАСЧЕТ СРОКА ОКУПАЕМОСТИ ЦИКЛА ДООЧИСТКИ .....	70
5 ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ ЗА СОБЛЮДЕНИЕМ ТРЕБОВАНИЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОКа.....	73
5.1 Производственный контроль, виды и задачи.....	73
5.2 Обеспечение готовности к действиям по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах.....	78
5.3 Подготовка и аттестация специалистов.....	79
5.4 Проверка знаний рабочих.....	80
5.5 Идентификация опасных и вредных производственных факторов.....	83
5.6 Защита работников от опасных и вредных производственных факторов на рабочих местах .....	85
5.6.1 Организационные мероприятия для защиты от вредных и опасных производственных факторов на работников на предприятии .....	85
5.6.2 Средства промышленной санитарии для защиты работников от производственных факторов.....	87
5.6.3 Средства индивидуальной защиты работников.....	88
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	89
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	90

## ВВЕДЕНИЕ

Большинство промышленных процессов и, в частности, добыча полезных ископаемых вызывают значительное загрязнение окружающей среды[1]. В результате растет беспокойство по поводу качества среды обитания. Это требует более инновационных усилий по ее защите. Теперь ожидается, что отрасли будут активно сокращать количество загрязняющих веществ, сбрасываемых в окружающую среду.

Чтобы противостоять вышеуказанному недостатку и сохранить высокое качество окружающей среды, во многих странах внедряется новая концепция, называемая «Чистое производство» (от англ.«Cleaner production», далее СР) или «Технология с низким или нулевым расходом отходов» (от англ. «Low- or zero - waste technology») [25].

СР относится к технологии, предназначенной для предотвращения выбросов отходов в самом источнике. Философия заключается в том, чтобы «производить лучше, а меньше загрязнять». На практике эта технология и ее применение носят многие другие названия, такие как экологически чистые технологии, минимизация отходов, предотвращение загрязнения, переработка отходов, утилизация ресурсов, утилизация отходов и т.д. СР сводит к минимуму или полностью исключает выброс загрязняющих веществ в окружающую среду. Не вкладывая много средств в этот процесс, можно сэкономить много денег на удалении отходов и эксплуатации процесса. Часто период возврата капитала составляет менее 5 лет.

Горнодобывающая промышленность также догнала вышеуказанные принципы обращения с отходами. Они особенно обеспокоены сточными водами, образующимися на их объектах. Не так много исследований найдено в области применения принципов сокращения источников для управления сточными водами на горнодобывающих предприятиях. Однако в нескольких исследованиях сообщалось о применении принципов рециркуляции / повторного использования

сточных вод для достижения целей более чистого производства в угольных шахтах.

Горнодобывающая промышленность внесла огромный вклад в мировую экономику. Тем не менее, отходы, создаваемые этой деятельностью, представляют много проблем.

Обсуждаются технические и экологические проблемы, связанные с очисткой промышленных стоков, условиями процесса для оптимальной производительности установки, эффективностью, ограничениями и экономичностью[3].

Общая стоимость очистки загрязненных металлом сточных вод зависит от используемого процесса и местных условий. В целом, техническая применимость, экономическая эффективность и простота установки являются ключевыми факторами при выборе наиболее подходящего метода очистки.

# 1 ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ГОРНО – ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ

## 1.1 Источники и характеристики сточных вод

В любом приложении по обращению с отходами первым шагом является идентификация источников сточных вод и их характеристика. Основные источники сточных вод с рудника можно в общих чертах классифицировать на следующие типы:

- шахтные воды;
- подотвальные воды;
- бытовые сточные воды.

Первый тип сточных вод образуется в тех шахтах, где практикуется подземная добыча. Источником для шахтной воды является, в основном, просачивание раскопанного участка шахты. Шахтная вода собирается в подземных отстойниках с номинальным временем удержания ( $pH \approx 7$ ). Количество шахтной воды сильно зависит от уровня грунтовых вод и грунтовых условий. Качество сильно варьируется от шахты к шахте в зависимости от местных условий.

Постоянный переход горных работ на более глубокие горизонты и усложнение при этом гидрогеологических условий приводят к дальнейшему увеличению объемов и загрязненности, попутно забираемых вод различными веществами, а также истощению подземных водоносных горизонтов, в том числе насыщенных чистой питьевой водой.

Существует возможность утилизации шахтных вод в зонах пожаротушения и подземного пылеподавления в ходе горных работ. Основными загрязнителями шахтных вод являются растворенные минералы из толщи водоносных пород. Как правило, уровни взвешенных твердых частиц (SS) в этом потоке чрезвычайно низки.

Подотвальные воды – это воды, состав которых обусловлен циклическими процессами осаждения и растворения минеральных фаз в результате инфильтрации через тело отвала (твердые заскладированные отходы и

забалансовые руды, также называют еще хвостохранилищем) атмосферных осадков (рН  $\approx$  2...4) [2].

Наиболее вероятные загрязняющие вещества в сточных водах, производимых горно-обогатительными комбинатами, отражены в таблице 1.

Таблица 1 – Типичные загрязнители в шахтных сточных водах

Категории	Подкатегории
Физические	взвешенные вещества (SS), мутность, цвет, температура, вкус и запах
Химические (органические)	уголь, масла и смазки, мыло и моющие средства, резина, красители и фенольные соединения
Химические (неорганические)	тяжелые металлы (Cr, Hg, Cu, Cd, Pb, Zn и др.), Кислоты, щелочи, цианиды, растворенные соли: -Катионы: Mg, Ca, K, Na, Fe, Mn, и т.д. -Анионы: Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> и др.
Биологические	бактерии, вирусы и мелкие организмы

Биологические загрязнители, по существу, происходят из бытовых и санитарно-технических сооружений внутри здания, где обычно расположены бытовые объекты, они подключаются к городской канализации. Физические и химические типы загрязняющих веществ являются наиболее важными в большинстве горнодобывающих отраслей, особенно в шахтах [26].

Взвешенные твердые частицы (SS) представляют собой концентрацию твердого вещества в суспензированной форме и вызывает одну из наиболее распространенных и видимых проблем загрязнения воды. Темно окрашенные взвешенные частицы, связанные с отходами добычи руды, могут рассматриваться обществом как неестественные.

Взвешенные твердые вещества представляют собой фракции нерастворенных веществ в пробе воды, удерживаемые в стекловолоконной фильтровальной



бумаге с размером пор 0,45 мкм. SS состоит из ила и другого мелкодисперсного рудного материала, который способен оставаться в суспензии в течение длительного периода. Характеристики оседания этих частиц зависят от размера, формы, плотности смеси и ряда других факторов.

Мутность является мерой мелкого взвешенного вещества в воде. Взвешенное вещество рассеивает свет и создает «облачный» вид. Следовательно, мутность является косвенным измерением взвешенного вещества.

Повышенная мутность в поверхностных водах может стать нежелательной, поскольку она ограничивает проникновение света и увеличивает поглощение тепла. Частицы, вызывающие помутнение, также могут быть средой поглощения и переноса бактерий. Измерения мутности не нужны для шахтных стоков, но могут быть полезны для получения исследований воздействия воды.

Кислотность в шахтной воде является результатом растворения углекислого газа или серной кислоты. Ключевым эффектом будет то, что pH будет уменьшен, и нежелательные металлы диссоциируют в раствор. Регулировка pH необходима, прежде чем кислотные сточные воды могут быть сброшены в приемную воду.

Хлориды естественным образом присутствуют в воде в небольших количествах в зависимости от геологических формаций, с которыми вода контактировала. При более высокой концентрации это может ускорить скорость коррозии в системах труб. Вода с избыточной концентрацией хлоридов не подходит для орошения или бытовых нужд.

Содержание азота в шахтных сточных водах (за исключением бытовых сточных вод) обычно очень мало, и в шахтных водах это не является проблемой.

Сульфаты также существуют в природе в воде, которая связывается с минеральными отложениями, такими как гипс. Но биологическое окисление пиритов приводит к растворенным сульфатам, которые могут добавить значительную концентрацию, даже если в качестве носителя используется свежая вода. Избыточные концентрации сульфата оказывают слабительное влияние на потребителя и неприятный вкус.

Фосфор встречается в воде в виде фосфатов. Термин «фосфаты» включает растворимые ортофосфаты и конденсированные фосфаты в форме осадков. Фосфор является важным питательным веществом для роста растений. Чрезмерные концентрации, сбрасываемые в принимающие воды, такие как ручьи и озера, в конечном итоге приведут к эвтрофикации – насыщение водоёмов биогенными элементами, сопровождающееся ростом биологической продуктивности водных бассейнов.

Такие металлы, как Na, K, Ca, Mn, Fe и Mg, практически нетоксичны и находятся в различных концентрациях в шахтных водах. Ионы Ca и Mg существенно увеличивают жесткость воды, в то время как ионы Fe и Mn вызывают изменение цвета в воде. Также может происходить отложение соединений этих металлов в трубопроводах.

Характеристика, оценка и контроль этих сбросов, как на действующих, так и на закрытых шахтах, являются важной частью общей программы экологического контроля. Влияние тяжелых металлов на водную среду является значительным, если выбросы не контролируются [8].

pH оказывает существенное влияние на растворимость металлов в воде. В щелочных условиях pH металлы имеют тенденцию образовывать соединения с гидроксидами и карбонатами и выпадают в осадок. В кислых условиях pH образуются растворимые соединения металлов.

В течение предыдущего года на очистные сооружения промышленных сточных вод (далее ОСПСВ) одного из ГОКов поступило  $2\,543\,746\text{ м}^3$  ( $\approx 290\text{ м}^3/\text{ч}$ ) и  $260\,290\text{ м}^3$  ( $\approx 29\text{ м}^3/\text{ч}$ ) шахтной и подотвальной вод соответственно.

Перед очисткой эти воды перемешиваются, причем основной остается все же шахтная. Приблизительно pH полученной воды равен 4...5 единицам, а содержание в ней основных элементов отразим в таблице 2.

Таблица 2 – Состав промышленных сточных вод исследуемого ГОКа

Наименование ингредиента	Единицы измерения	Подотвальная вода (южный пруд)	Шахтная вода	Подотвальная вода (северный пруд)
Водородный показатель	ед.рН	3,0	4,2	4,1
Взвешенные вещества	мг/дм <sup>3</sup>	100,0	4294,0	64,0
Кальций	мг/дм <sup>3</sup>	921,0	737,0	585,0
Магний	мг/дм <sup>3</sup>	1228,0	496,0	426,0
Медь	мг/дм <sup>3</sup>	91,0	58,0	26,0
Цинк	мг/дм <sup>3</sup>	512,0	283,0	217,0
Марганец	мг/дм <sup>3</sup>	127,0	44,0	40,0
Железо общее	мг/дм <sup>3</sup>	266,0	522,0	45,0
Кадмий	мг/дм <sup>3</sup>	1,2	0,8	0,67
Кобальт	мг/дм <sup>3</sup>	0,78	0,63	0,53
Никель	мг/дм <sup>3</sup>	0,77	0,51	0,34
Свинец	мг/дм <sup>3</sup>	<0.01	<0.01	1.8
Сульфат-ион	мг/дм <sup>3</sup>	11575,0	3589,0	3296,0
Хлорид-ион	мг/дм <sup>3</sup>	64,0	143,0	286,0
Нитрат-ион	мг/дм <sup>3</sup>	15,0	32,0	14,0
Нитрит-ион	мг/дм <sup>3</sup>	0,04	1,10	0,71
Ион аммония	мг/дм <sup>3</sup>	3,9	6,3	4,4

После перемешивания промышленные сточные воды проходят очистку на ОСПСВ с использованием известкового молока и сбрасываются в водоем рыбохозяйственного назначения. Чтобы не создавать опасности для здоровья

пользователей поверхностных водных ресурсов, в настоящее время сброс сточных вод регулярно контролируется.

В следующем разделе наиболее подробно представлены требования, предъявляемые к водам рыбохозяйственного назначения.

## 1.2 Требования, предъявляемые к сточным водам рыбохозяйственного назначения

Поверхностные воды используются людьми для различных целей. Например, служат источником питьевой воды после очистки и источником домашней воды без очистки, особенно в сельских районах развивающихся стран. Также используются для орошения фермерами, и рыбаки занимаются ловлей рыбы в очень многих источниках пресной воды. Помимо всего выше перечисленного, используется для купания, а также служит центром притяжения туристов. Поэтому поверхностные воды должны быть защищены от загрязнения.

Наличие пресной воды является одной из основных проблем, стоящих перед миром, и примерно треть потребности в питьевой воде в мире получают из поверхностных источников, таких как реки, плотины, озера и каналы. Эти источники воды также служат лучшими поглотителями для сброса бытовых и промышленных отходов.

Сточные воды являются основными источниками различных проблем, связанных с загрязнением воды. Из-за отсутствия или ненадлежащего состояния очистных сооружений сточные воды часто сбрасываются в поверхностные водные источники, что приводит к загрязнению окружающей среды.

Низкое качество стоков является причиной деградации принимающего поверхностного водного объекта. Сточные воды должны быть эффективно очищены для предотвращения неблагоприятного риска для здоровья пользователя поверхностных водных ресурсов и водной экосистемы.

Выброс сырых и неправильно очищенных сточных вод в водотоки оказывает как краткосрочное, так и долгосрочное воздействие на окружающую среду и

здоровье человека. Следовательно, необходимо обеспечить надлежащее соблюдение водного и экологического законодательства для защиты здоровья жителей.

Очищенные сточные воды большинства ГОКов сбрасываются в водоемы рыбохозяйственного назначения. Сточные воды перед тем, как сбрасываться в реки и озера тщательно проверяются, они должны соответствовать ГОСТ 17.1.2.04 – 77 «Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов» [14]. К сожалению, как показывает практика, невозможно избавиться на 100 % от всех загрязняющих веществ. Именно поэтому проблема загрязнения водоемов достаточно остро стоит в наше время.

Определены предельно допустимые концентрации (далее ПДК) – нормативы, устанавливающие концентрации вредного вещества в единице объема (воздуха, воды), массы (пищевых продуктов, почвы) или поверхности (кожа работающих), которые при воздействии за определенный промежуток времени практически не влияют на здоровье человека и не вызывают неблагоприятных последствий у его потомства [10, 15].

В таблице 3 представлены нормативы ПДК для питьевой и рыбохозяйственной воды. Проведем сравнение данных показателей. Стоит обратить внимание на то, что по некоторым показателям очищенная промышленная вода контролируется жестче, чем водопроводная. Например, содержание алюминия, меди, сульфатов и др. соединений в водоемах рыбохозяйственного назначения должно быть во много раз меньше. Все выше перечисленное говорит в свою очередь о важности качественной очистки.

Поверхностные воды останутся альтернативным источником воды для удовлетворения внутреннего спроса на воду в основном в сельских районах мира, если питьевая вода не будет подаваться на регулярной основе. Сточные воды должны быть эффективно очищены, чтобы не создавать опасности для здоровья пользователей поверхностных водных ресурсов.

Помимо ПДК существует еще один важный показатель, который необходимо определить – предельно допустимый сброс. Предельно допустимый сброс загрязняющих веществ в водную среду (далее ПДС) – такое количество загрязняющего вещества, которое за определенный промежуток времени (например, год или час) не приводит к повышению ПДК этого вещества в любой точке водного объекта. Поэтому все ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения пересчитывают на ПДС. Остановимся на этом более подробно во 2 главе.

Таблица 3 – Сравнение ПДК сточных вод рыбохозяйственного и питьевого назначения

Показатели	Единицы измерения	Норматив ПДК очищенных сточных вод:	
		Питьевого назначения.	Рыбохозяйственного назначения.
Водородный показатель	единицы рН	в пределах 6-9	В пределах 6-9
Нефтепродукты, суммарно	мг/л	0,1	0,05
Поверхностно-активные вещества (ПАВ)	мг/л	0,5	0,5
Фенольный индекс	мг/л	0,25	0,001
Алюминий (Al)	мг/л	0,5	0,04
Барий (Ba)	мг/л	0,1	0,74
Железо (Fe, суммарно)	мг/л	0,3	0,1
Медь (Cu, суммарно)	мг/л	1,0	0,001
Марганец (Mn)	мг/л	0,1	0,01
Нитраты	мг/л	45	9
Ртуть (Hg, суммарно)	мг/л	0,0005	0
Свинец (Pb, суммарно)	мг/л	0,03	0,1

Показатели	Единицы измерения	Норматив ПДК очищенных сточных вод:	
		Питьевого назначения.	Рыбохозяйственного назначения.
Сульфаты (SO <sub>4</sub> )	мг/л	500	100
Фториды (F)	мг/л	0,5-1	0,75
Хлориды (Cl)	мг/л	350	300
Хром (Cr)	мг/л	0,05	0,07
Цинк (Zn)	мг/л	5,0	0,01
Фосфаты	мг/л	3,5	1-2
Нитриты(NO <sub>2</sub> )	мг/л	3	0,2
Аммония (по азоту)	мг/л	2	0,4
Взвешенные вещества	мг/л	5	10

### 1.3 Существующие технологии очистки сточных вод

Добыча металлов, таких как золото, цинк, свинец, медь, железо, алюминий и многих других, включает в себя выброс многих загрязняющих веществ, которые могут представлять серьезную угрозу для здоровья населения или дикой природы и, следовательно, должны быть удалены или преобразованы в различные формы, которые не токсичны [11].

Удаление токсичных металлов из сточных вод горнодобывающей промышленности с использованием физико-химических подходов, таких как адсорбция, окисление и восстановление, а также химическое осаждение, требует большого количества химических реагентов и выработки значительного количества токсичного ила и вторичных загрязнителей, что повышает вопросы об устойчивости этих технологий.

Мало того, что многие продуктивные шахты по всему миру расположены в районах с дефицитными запасами воды, но также и добыча полезных ископаемых способствовала дефициту пресной воды. Чтобы предотвратить дальнейшее

загрязнение окружающей среды, горнодобывающие компании могут обратиться к передовым решениям по очистке сточных вод, которые производят воду, пригодную для повторного использования.

### 1.3.1 Мембранный аэрированный биопленочный реактор

С помощью новых технологий, таких как контейнерная система EcoBox™ от компании Fluence, могут защитить местные источники пресной воды, обрабатывая и повторно используя сточные воды, добываемые в шахтах, для озеленения, орошения, борьбы с пылью и даже питьевой воды. Это защищает местные источники воды, в то же время соблюдая все более строгие экологические нормы и снижая затраты на удаление сточных вод.

Строительство инфраструктуры для доставки воды из удаленных районов добычи на центральную очистную установку было бы дорогостоящим, занимало много времени и требовало решения сложных вопросов, связанных с полосой отвода. По этим причинам при добыче полезных ископаемых обычно требуется некоторая форма децентрализованной очистки сточных вод.

Компактная установка от Fluence может предоставить горнодобывающей компании надежную систему расширенной аэрации, которая может быть спроектирована и рассчитана для конкретных типов и концентраций загрязняющих веществ. Эти установки могут быть отправлены куда угодно, требуют минимальных затрат на установку и запуск, и просты в эксплуатации.

Системы очистки сточных вод для горных работ работают на электрической энергии. Обычная обработка активным илом требует большой мощности для работы аэрационных насосов. Новые технологии, снижающие это требование, могут сделать горнодобывающую промышленность более устойчивой.

Инновационная технология аэробной очистки сточных вод Fluence, мембранный аэрированный биопленочный реактор (от англ. Membrane Aerated Biofilm Reactor далее MABR), снижает требования к мощности на 90% по сравнению с обычными системами аэрации активированного ила, которые могут



обеспечить экологически ответственную децентрализованную очистку бытовых сточных вод в шахтерских лагерях. Конструкция пассивной аэрации MABR позволяет кислороду диффундировать через мембрану с минимальным подводом энергии. Установки MABR предлагают простую, требующую минимального обслуживания операцию, низкие эксплуатационные расходы и производят воду, пригодную для сброса или использования в орошении.

На самом базовом уровне MABR обеспечивает высокоэффективную биологическую обработку. При традиционной аэробной обработке процесс питается воздушными пузырьками, создаваемыми аэраторами. Этот традиционный метод не только энергоемкий, но и неэффективный, поскольку большая часть воздуха в пузырьках поднимается на поверхность раньше, чем бактерии успевают его использовать.

Конфигурация мембраны позволяет нескольким процессам происходить одновременно в одном и том же резервуаре, что раньше требовало нескольких камер.

Полупроницаемая мембрана погружается в резервуар для сточных вод, а воздух низкого давления продувается через воздушную сторону мембраны. Кислород постоянно поступает в неподвижную нитрифицирующую биопленку, которая развивается на стороне сточных вод мембраны, в то время как денитрификация происходит в аноксичном (зона водоема, где высока концентрация органических веществ, а скорость потребления кислорода превышает скорость его поступления) объемной жидкости.

Нитрификация - это превращение аммиака ( $\text{NH}_3$ ) в нитрат ( $\text{NO}_3$ ). Это двухэтапный процесс, который осуществляется с помощью кислорода и двух типов бактерий, известных в совокупности как нитрификаторы. Денитрификация - это превращение нитрата ( $\text{NO}_3$ ) в газообразный азот ( $\text{N}_2$ ) гетеротрофные бактерии используют нитрат ( $\text{NO}_3$ ) в качестве источника кислорода в аноксических условиях для расщепления органических веществ [9].

Эти нитрифицирующие бактерии процветают как биопленка на мембране, поскольку она непрерывно доставляет им кислород на молекулярном уровне без пузырьков. Когда воздух проходит через мембранные стенки и попадает в сточные воды, аэробные бактерии цепляются за него, образуют нитрифицирующую биопленку и процветают, превращая растворенный аммиак в нитрат.

Уровень кислорода вблизи мембраны в MABR высок, но уровни ниже между мембранными листами и в остальной части резервуара, поэтому денитрифицирующие бактерии используют кислород из нитрата. Нитрат расщепляется на газообразный азот, который выбрасывается в атмосферу, и на кислород, который вызывает дальнейшее расщепление органических загрязнителей на основе углерода в сточных водах.

Денитрификация является очень стабильным и устойчивым процессом, обладающим высокой устойчивостью к ударам окружающей среды. Поэтому MABR хорошо работает при более низких температурах, и его реакторы меньше, чем другие, которые выполняют аналогичную работу по очистке.

Нагнетание воздуха для его принудительного прохождения через диффузоры не требуется в модулях MABR, как это было в устаревших аэробных установках очистки воды. Но, не смотря на это, воздух все равно должен быть закачан в мембранные оболочки. Давление, необходимое для этого, ничтожно мало. Поскольку мембранные стенки оболочек удерживаются специально разработанной воздушной прокладкой, проветривание воздуха через мембранные оболочки осуществляется при давлении, близком к атмосферному.

MABR сочетает в себе новую технологию мембранного полимера и старые принципы очистки сточных вод в гениальный пакет, который эффективно и одновременно выполняет множество функций в пределах одной небольшой площади. И, учитывая все показатели, указывающие на десятилетия углубляющегося истощения подземных вод и водного стресса, повторное использование сточных вод становится все более и более необходимым.

### 1.3.2 Пруды для стабилизации отходов, биологические площадки

Пруды для стабилизации отходов являются технологиями очистки промышленных сточных вод с низким капитальным и эксплуатационным расходам. Они особенно популярны в местах, где имеются большие участки земли. Несмотря на свою популярность они имеют ограничения по использованию этой технологии для удаления тяжелых металлов из сточных вод.

Некоторые исследования, проведенные на прудах стабилизаторах, показали плохие результаты при удалении металлов. Из-за этого большое внимание уделяется использованию биологических площадок (от англ. Constructed Wetlands) для очистки шахтных вод.

Биологические площадки - это искусственные или инженерные водно-болотные угодья, разработанные для использования природных, физических, биологических и химических процессов, которые происходят в этих водных экосистемах с участием почвы, флоры и фауны, включая микробные сообщества, для очищения сточных вод [6].

Использование таких площадок для удаления тяжелых металлов – современная разработка. Их используют для очистки сточных вод при добычи полезных ископаемых, нефтеперерабатывающие заводы, химические заводы, целлюлозно-бумажная промышленность, кожевенное производство, текстиль, ликеро-водочный завод, винодельня и другие отрасли.

### 1.3.3 Процесс биосорбция

Биосорбция является одной из наиболее перспективных технологий удаления металлов из водных растворов промышленных сточных вод. Она включает в себя недорогую, легкодоступную мертвую или живую биомассу (материалы биологического происхождения), которая удаляет тяжелые металлы из сточных вод в осадка.

Биосорбционные процессы обеспечивают преимущественное извлечения металлов; регенерации биосорбента; минимизацию объема, утилизируемого химического и биологического шлама; высокую эффективность детоксикации сточных вод.

Биомасса из водорослей, грибов, бактерий, морских водорослей, а также из некоторых высших растений были эффективно и успешно использованы в исследованиях по удалению металла.

Биомасса активного ила (АСБ) - это новый технологический инструмент, который зарекомендовал себя как более эффективный и устойчивый метод биовыведения или биосорбции ионов металлов из сточных вод. Он может снизить концентрацию ионов металлов до экологически приемлемых уровней по доступной цене [5].

Проведенные исследования и показали, что биосорбция АСБ является устойчивым методом и эффективной системой, которая может удалять 59,3%, 68,5% и 86,5% ионов Cd(II), Pb(II) и Zn(II) соответственно из промышленных сточных вод.

Стратегии восстановления шахтных сточных вод должны быть спроектированы таким образом, чтобы обеспечивать высокую пропускную способность при минимальных затратах. Биосорбция является альтернативой традиционным физико-химическим средствам удаления токсичных металлов из сточных вод. Биосорбция может быстро и эффективно удалять растворенные металлы из разбавленного комплексного раствора с высокой эффективностью. Особое значение придается потребностям в энергии, а также углеродному следу технологии очистки.

Эти характеристики делают данный процесс идеальным кандидатом для очистки больших объемов сложных сточных вод с низкой концентрацией. Однако подготовка биосорбции для применения в качестве процесса требует сильной химико-технологической подготовки, и понимание самого процесса сорбции.

Исследования показали, что схема обработки с неподвижным слоем в нисходящем потоке является идеальной системой для одновременного удаления тяжелых металлов из сточных вод. Для промышленного применения биосорбции регенерация биосорбентов важна для снижения стоимости процесса и открытия возможности извлечения иона металла, извлеченного из жидкой фазы.

#### 1.4 Технология очистки сточных вод на очистных сооружениях промышленных сточных вод

Одним из самых популярных методов очистки промышленных сточных вод является очистка известковым молоком. Достаточно эффективный и экономичный метод. Известь позволяет воде размягчаться, очищаться, устранять ее помутнение, нейтрализовать кислотность и устранить примеси и т. д.

В случае обычной химической очистки промышленных неорганических сточных вод известь имеет ряд преимуществ: контроль pH, нейтрализация кислых сточных вод, снижение концентрации окисляемых органических загрязнителей, осветление, осаждение растворенных загрязняющих веществ, а также флокуляция и коагуляция коллоидных частиц.

Использование извести в очистных сооружениях сточных вод для удаления органического шлама получило широкое распространение более 100 лет назад. В настоящее время наиболее широко используемым известковым продуктом на очистных сооружениях сточных вод является гидроксид кальция ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) с чистотой более 90%.

Применение извести в этих установках дает ряд преимуществ, как в водопроводной линии (осаждение токсичных металлов и снижение уровня взвешенных веществ), так и в шламовой линии (кондиционирование всего типа шлама, стабилизация его без загрязнения, устранение неприятных запахов и уничтожение патогенных агентов, что делает его более гигиеничным).

Рассмотрим наиболее подробно процесс очистки сточных вод на очистных сооружениях промышленных сточных вод (далее ОСПСВ) изучаемого ГОКа [16].

### 1.4.1 Усреднение

Расход и концентрация загрязнений производственных сточных вод могут колебаться в течение суток в широких пределах. Поэтому одним из главных этапов является усреднение воды.

Помимо всего выше перечисленного, данный этап позволяет нам усреднить шахтную и подотвальную воды по концентрации. Он проводится в специальных регулирующих емкостях – усреднителях, которые обеспечивают возможность равномерной подачи сточных вод средней концентрацией на очистные сооружения.

Концентрации загрязнений будут выравниваться тем полнее, чем лучше поступающая сточная вода будет перемешиваться. Наиболее полное перемешивание может быть достигнуто барботерами, мешалками, насосами. На исследуемом ГОКе используют усреднители с барботированием воды.

Барботирование (перемешивание сточной воды сжатым воздухом) производится через перфорированные трубы с отверстиями, расположенными снизу. Трубы укладываются строго горизонтально вдоль резервуара. Использование воздуха для перемешивания особенно рационально на очистных станциях с общей воздухораспределительной системой.

Резервуар-усреднитель представляет собой емкость с барботерами, расположенными горизонтально на подставках высотой 7...10 см от дна. Вода подается в резервуар сверху через впускные отверстия, затем через выпускную камеру отводится на дальнейшую обработку (См. рисунок 1) [20].

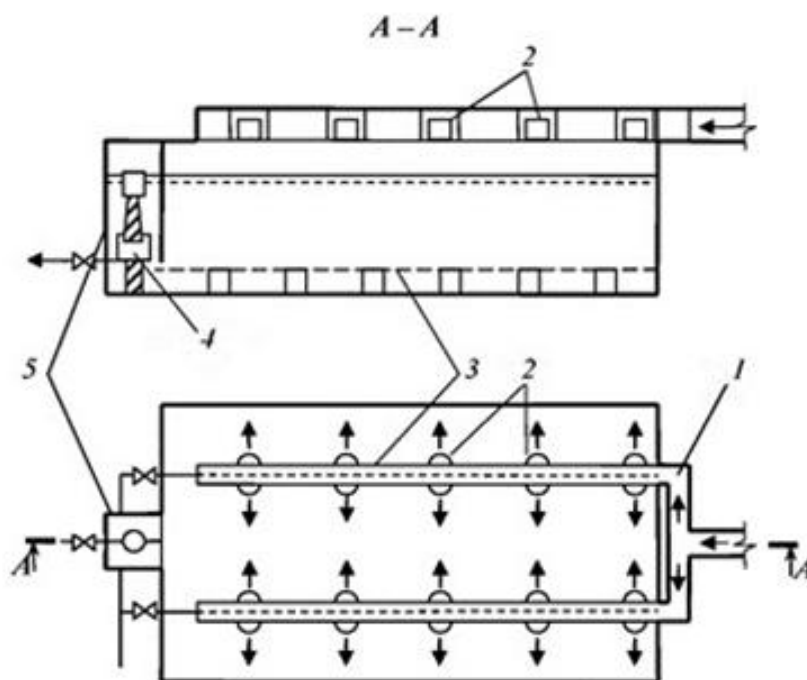


Рисунок 1 – Схема усреднителя с барботированием воды:

1 – подающий лоток; 2 – впускные отверстия; 3 – барботер; 4 – выпускное устройство; 5 – выпускная камера

Усредненная вода содержит большое количество кислот, поэтому следующий этап (нейтрализация) имеет огромное значение в технологическом процессе очистки промышленных сточных вод.

#### 1.4.2 Нейтрализация

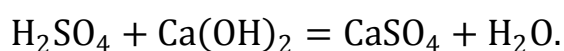
Для нейтрализации минеральных кислот применяется любой щелочной реагент, чаще всего известь-пушонка, известковое молоко, карбонаты кальция и магния. Эти реагенты сравнительно дешевы и общедоступны.

На данном ГОКе используется известковое молоко с концентрацией 10-12% (по активной части оксида кальция), которое поступает с отделения приготовления реагентов обогатительной фабрики. Транспортируется по трубам, что довольно удобно и экономично. Каждый раз при приеме новой партии, аппаратчики проверяют его концентрацию по установленной методике.

В гидроциклонах, куда попадает усредненная вода, установлен рН-метр, так как на протяжении всего процесса нейтрализации нужно поддерживать заданный интервал рН (9,5...10,5 единиц). Этот интервал определяется техническим персоналом по лабораторному анализу исходного стока и требованиям к качеству осветленной воды.

Заданное значение рН поддерживается в автоматическом режиме, в гидроциклоны поступает необходимое количество известкового молока для его поддержания. Количество затраченного реагента прямо-пропорционально степени минерализации воды: чем ниже степень минерализации, тем меньше известкового молока уйдет на нейтрализацию.

При нейтрализации сточных вод, содержащих серную кислоту ( $H_2SO_4$ ), реакция с известковым молоком протекает по уравнению:



Нейтрализация кислых стоков сопровождается образованием гидроксидов металлов, что позволяет извлечь их методом отстаивания. Скорость образования и осаждения зависит от многих факторов: рН среды, концентрация загрязнений, наличие органических загрязнений, высокой минерализации, температуры и так далее.

Поэтому окончательная активная реакция устанавливается не сразу, а по истечении некоторого времени – от 20 до 30 мин. В летний период взаимодействие воды с реагентами и флокулянтами происходит значительно быстрее, чем зимой за счет высокой температуры [19].

Образовавшиеся малорастворимые соединения необходимо удалить из нейтрализованной воды, именно поэтому она отправляется на заключительный этап очистки в вертикальные отстойники.



### 1.4.3 Осветление

Последним и самым продолжительным по времени этапом очистки воды является осветление. Оно происходит в специальных резервуарах – отстойниках.

Отстойник-это сооружение, в котором сточные воды заполняются и хранятся в течение некоторого времени для удаления грубодисперсных примесей, присутствующих в воде. Они могут оседать на дне резервуара и удаляться с помощью скребков. Если взвешенные частицы имеют меньший удельный вес, чем вода, они оседают в верхней части резервуара.

По режиму работы различают отстойники периодического действия, или контактные, в которые сточная вода поступает периодически, причем отстаивание ее происходит в покое, и отстойники непрерывного действия, или проточные, в которых отстаивание происходит при медленном движении жидкости.

По направлению движения основного потока воды в отстойниках они делятся на два основных типа: горизонтальные и вертикальные; разновидностью горизонтальных являются радиальные отстойники.

Вертикальные – это, как правило, цилиндрические резервуары с коническим дном диаметром до 10 м и производительностью до 3000 м<sup>3</sup>/сут. Движение осветленной воды в отстойнике происходит в вертикальном направлении – снизу-вверх. Взвешенные частицы оседают в восходящем потоке воды, скорость которого не должна превышать 0,5...0,6 мм/с; высота зоны осаждения обычно составляет 4...5 м.

Сбор осветленной воды осуществляется с помощью периферийных или радиальных желобов через водослив. Уклон конической части дна принимает не менее 45...50° для обеспечения сползания осадка, который через иловыжимные трубы откачивается в промежуточные сборники (См. рисунок 2). Их применяют на станциях небольшой производительности (менее 20000 м<sup>3</sup>/сут).

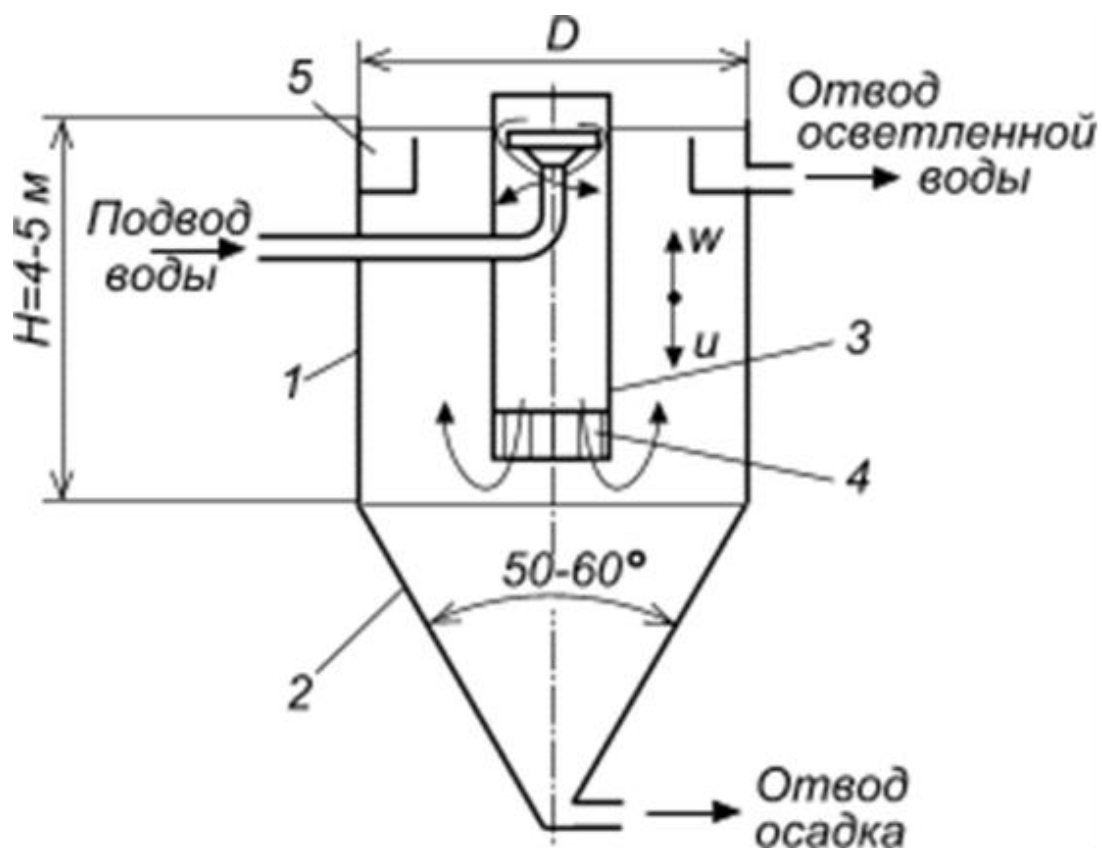


Рисунок 2 – Схема вертикального отстойника

Горизонтальные – прямоугольные резервуары глубиной  $H = 1,5...4,0$  м, длиной  $8...12 H$  (иногда до  $20 H$ ), с шириной коридора  $3...6$  м. Удаление осадка из них осуществляется гидравлическим методом или движущимися скребками. Равномерное распределение по ширине производится с помощью поперечного лотка с водосливом или дырчатой перегородки. Скорость движения не превышает  $10...12$  мм/с, продолжительность отстаивания  $1...3$  ч. Их применяют на станциях производительностью более  $15000$  м<sup>3</sup>/сут.

Радиальные – обычно круглые резервуары диаметром до  $60$  м (иногда более  $100$  м), вода в которых движется по радиусу от центра к периферии. Скорость потока переменная: в центре – максимальная, в периферии – минимальная. Она поступает через центральное разделительное устройство, а осветленная вода собирается в круговой периферийный желоб. Глубина проточной части составляет  $1,5...5$  м, а отношение диаметра к глубине от  $6$  до  $30$ . Продолжительность пребывания  $1,5...2$  ч. Также, радиальные отстойники имеют

свои минусы, например, повышенная скорость в зоне выпуска воды. Они применяются на станциях большой производительности (более 20000 м<sup>3</sup>/сут).

На очистных сооружениях промышленных сточных вод исследуемого ГОКа производительность не высокая ( $\approx 8000$  м<sup>3</sup>/сут.), поэтому здесь используются вертикальные отстойники, также из всех выше перечисленных они обладают большой эффективностью и маленькой площадью размещения [22].

Образующиеся мелкодисперсные малорастворимые соединения плохо оседают на дно отстойника, чтобы ускорить осаждение к нейтрализованной воде добавляют такой реагент, как флокулянт.

Флокуляция в настоящее время является важным этапом во многих системах очистки воды в качестве средства для удаления взвешенных твердых частиц. Флокулянт – это химическое вещество, которое может быть добавлено в воду, чтобы помочь коллоидам и любым другим взвешенным твердым частицам связываться вместе и образовывать более тяжелые частицы. Затем более тяжелые частицы оседают на дно отстойника, а вода сверху сливается.

Многие флокулянты в настоящее время используются в очистке воды, и еще больше изучается инженерами и исследователями по всему миру. Большинство из них – растворимые высокомолекулярные соединения линейного строения, макромолекулы которых состоят из однородных (гомополимеры) или разнородных (сополимеры) мономерных звеньев.

Принцип действия неионных флокулянтов, относящихся к нейтральному классу, состоит в образовании связей между молекулами полимера и поверхностью взвешенных частиц загрязнений. Суть процесса состоит в том, что между атомами водорода молекулы полимера и атомами кислорода, азота или какими-либо другими, находящимися на взвешенных частицах загрязнений, образуются водородные связи. Они являются более слабыми, чем обычная химическая ковалентная связь, но за счет их количества достаточно прочно удерживают молекулы полимера с взвешенными частицами загрязнений. К ним

относятся поливиниловый спирт и полиоксиэтилен, хорошо растворяющиеся в воде, а также полиакриламид.

Флокулянты анионного типа за счет имеющегося у них заряда усиливают действие водородных связей. Это происходит за счет дополнительного взаимодействия анионов флокулянта, имеющих отрицательный заряд, с катионами, находящимися на поверхности частиц загрязнений, имеющих положительный заряд с образованием дополнительной химической связи. В эту группу входят полиакрилат и полиметаакрилат натрия, и другие органические соединения, состоящие из простых катионов натрия, калия, или аммония и полимерных кислотных остатков [21]. На ОСПСВ данного ГОКа используют флокулянт типа NALCO 8172 PULV.

Катионные флокулянты также образуют дополнительные химические связи, но теперь уже между положительно заряженными катионами полимера и отрицательными анионами на поверхности частиц загрязнений.

Помимо образования дополнительных связей, положительно заряженные катионы нейтрализуют отрицательный заряд взвешенных частиц, отталкивающий их друг от друга, что еще больше активизирует процесс их объединения с образованием флоккул. Представителями такого класса флокулянтов являются многие эфиры, а также органические соединения, имеющие в составе простые анионы хлора или кислотные остатки серной и уксусной кислот в сочетании с полимерными катионами, такими, как полиакриламид.

Катионно-анионные флокулянты являются амфотерными, то есть проявляют катионные, анионные или нейтральные свойства в зависимости от pH среды: в кислотной они ведут себя как катионные, в щелочной – как анионные, а в нейтральными они становятся в равновесной среде. Яркими их представителями являются белковые соединения.

Содержание осадков в нейтрализованной воде постоянно меняется (зависит от входящей воды), поэтому аппаратчики лабораторным путем (не менее двух раз в смену) подбирают оптимальную дозу реагента:

- Отбирают не менее четырех литров нейтрализованной воды.
- Наливают по одному литр в пластмассовые кружки, добавляют в каждую флокулянт в количествах, соответствующих его концентрации и заданным дозам: первая – 1 мг/л по активной части флокулянта; вторая – 2 мг/л и так далее с интервалом в 1 мг/л. Одну кружку оставляют без изменений (для контроля).
- Перемешивают 1...2 мин и оставляют в покое. Через 10 и 30 мин фиксируют следующие параметры: Крупность хлопьев, скорость оседания и прозрачность воды над осадком.

Из полученных результатов выбирают оптимальную дозу флокулянта по скорости осаждения, прозрачности и количеству осадка.

### 1.5 Постановка цели и задач

Цель выпускной квалификационной работы заключается в модернизации технологии очистки промышленных сточных вод на ОСПСВ исследуемого ГОКа, основываясь на современных разработках.

В соответствии с целью исследования были поставлены следующие задачи:

- изучить источники и характеристики сточных вод;
- ознакомиться с требованиями, предъявляемыми к сточным водам, сбрасываемым в водоемы рыбохозяйственного назначения;
- рассмотреть существующие технологии очистки промышленных сточных вод, провести сравнение;
- оценить эффективность работы ОСПСВ исследуемого ГОКа;
- выявить природу возникновения тех загрязнителей, которые не соответствуют ПДС, а также существующие методы очистки от них;
- предложить модернизированную схему очистки промышленных сточных вод на примере исследуемого ГОКа;
- оценить эффективность работы предложенного цикла;
- подобрать аппаратное оформление.

## 2 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

### 2.1 Предельно допустимый сброс

Наиболее совершенные технологические схемы действующих на сегодняшний день на ОСПСВ для промышленных сточных вод предусматривают в основном только удаление органических, взвешенных веществ и обеззараживание. Но работу очистных сооружений часто считают нерентабельной. Предприятию чаще всего выгоднее заплатить штраф, чем вложить средства в строительство очистных сооружений. Все это связано, с тем, что для снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду необходимы большие капитальные затраты.

Так как самые распространённые в сточных водах примеси (хлориды и сульфаты) не задерживаются очистными сооружениями, то при очистке вод общее содержание растворённых минеральных веществ почти не изменяется. Все это является одной из причин нарастающей деградации качества воды в природных водоёмах в результате повышающейся минерализации. Наиболее остро это ощущается в промышленно развитых районах, где сброс шахтных и рудничных вод в природные воды значительно усугубляет ситуацию с загрязнением водных объектов.

Выбор оптимальных технологических схем очистки промышленных сточных вод – достаточно сложная задача, что обусловлено многообразием находящихся в воде примесей и высокими требованиями, предъявляемыми к качеству очистки воды.

При выборе способа очистки от примесей учитывают не только состав вод, но и требования, которым должны удовлетворять очищенные воды при сбросе в водоем – предельно допустимые концентрации веществ (ПДК) и предельно допустимый сброс (ПДС). При повторном использовании очищенных сточных вод в производстве выбор также зависит и от требований, которые необходимы для осуществления конкретных технологических процессов.

Для удобства в настоящее время принято использовать ПДС, на основании данных из таблицы 3 мы можем пересчитать ПДК на ПДС. Для этого воспользуемся формулой:

$$\text{ПДС} = D_{\text{ст}} \cdot \text{ПДК}.$$

где  $D_{\text{ст}}$  - расход сточных вод,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ; ПДК – предельно допустимая концентрация веществ,  $\text{г}/\text{м}^3$ . Расход сточных вод на исследуемом ГОКе равен  $319 \text{ м}^3/\text{ч}$ , тогда, например,  $\text{ПДС} (\text{Fe}) = 319 \cdot 0,1 = 31,9 \text{ г}/\text{ч}$ . Для наглядности все расчеты представим в таблице 4.

Таблица 4 – Расчет ПДС некоторых загрязняющих веществ

Показатели	ПДК, $\text{г}/\text{м}^3$	ПДС, $\text{г}/\text{ч}$	ПДС (годовой), $\text{кг}$
Железо	0,1	31,9	279,44
Медь	0,001	0,319	2,79
Марганец	0,01	3,19	27,94
Сульфаты	100	31900	279 444
Цинк	0,01	3,19	27,94
Взвешенные вещества	10	3190	27 944,4
Свинец	0,1	31,9	279,44
Хлорид-ион	300	95700	838 332
Нитрат-ион	9	2871	25 150,0
Нитрит-ион	0,2	63,8	558,9
Ион аммония	0,4	127,6	1117,8

Анализируя данные из таблицы 4, можно заметить, что в год в водоемы рыбохозяйственного назначения сбрасывается огромное количество загрязняющих веществ. Учитывая тот факт, что многие предприятия сбрасывают плохо очищенные сточные воды, реальные цифры будут в несколько раз больше [12].

Все выше перечисленное еще раз подчеркивает актуальность выбранной темы выпускной квалификационной работы. Именно поэтому применяемые схемы очистки должны обеспечивать максимальное использование очищенных вод в основных технологических процессах и минимальный их сброс в открытые водоемы.

## 2.2 Эффективность работы очистных сооружений промышленных сточных вод

Деятельность предприятий оказывает негативное воздействие на окружающую среду, которое проявляется в загрязнении атмосферного воздуха, почв, поверхностных и подземных вод, сокращении площадей земель, пригодных для сельскохозяйственного использования, снижении продуктивности земельных ресурсов, нарушении гидрологических и гидрогеологических режимов района, ухудшении ландшафта.

Сточные воды представляют наибольшую опасность для поверхностных и подземных вод. И поэтому, изучаемый ГОК своей деятельностью способствует сохранению и бережному обращению с природными ресурсами, в том числе и с водными. Деятельность комбината связана с добычей полезных ископаемых и производством медных и цинковых концентратов, и эта деятельность одновременно направлена на сохранение водных ландшафтов, количественных и качественных составов поверхностных и подземных вод.

Наиболее опасны тяжелые металлы, т.к. при поступлении в экосистемы они включаются в биологический круговорот веществ. Эти загрязняющие компоненты при благоприятных условиях могут накапливаться и образовывать



техногенные аномалии. Высокая их концентрация в почве или в воде может быть опасна для живых организмов.

Очищенные сточные воды на исследуемом ГОКе сбрасываются в реку по двум подземным коллекторам, уложенным на расстоянии 2000мм друг от друга в открытых железобетонных лотках. Тип выпуска береговой.

Степень очистки промышленных сточных вод при сбросе их в водоемы определяется нормативами качества воды водоема в расчетном створе и в большей степени от фоновых загрязнений. Чтобы оценить эффективность работы ОСПСВ изучаемого нами ГОКа необходимо детально рассмотреть химический состав промышленных сточных вод после очистки. В таблице 5 отражены загрязняющие вещества и их концентрация, которые сбрасываются в настоящее время в водоем рыбохозяйственного назначения.

Таблица 5 – Состав промышленных сточных вод, сбрасываемых в реку после очистки

Наименование загрязняющих веществ и показателей	Содержание загрязняющих веществ, г/м <sup>3</sup>	Количество сбрасываемых загрязняющих веществ, г/ч	ПДС, г/ч
Взвешенные вещества	6,0	1914	3190
Нитрит-анион	0,02	6,4	63,8
Нитрат-анион	28,0	8932	2871
Аммоний-ион	0,2	63,8	127,6
Хлорид-анион	250,0	79750	95700
Сульфат-анион	282,0	89958	31900
Железо	0,14	44,7	31,9
Медь	0,009	2,9	0,3
Цинк	0,027	8,6	3,2
Марганец	0,02	6,4	3,2

Свинец	<0,005	1,6	31,9
--------	--------	-----	------

Сравнив фактическое значение сброса загрязняющих веществ с ПДС, можно заметить следующее: по содержанию нитратов и сульфатов в сбрасываемых сточных водах зафиксированы значительные превышения; помимо этого, присутствуют и незначительные превышения (содержание железа, меди, цинка, марганца)[13].

Для снижения концентраций вредных примесей в сточных водах до требуемых величин необходима достаточно глубокая очистка. Поэтому необходим надежный контроль степени очистки сточных вод и ужесточение требований к качеству очищенных вод и снижение значений концентраций вредных веществ.

Рассмотрим подробнее популярные и общедоступные методы очистки сточных вод именно от тех загрязняющих веществ, по которым были выявлены превышения. Следует также обратить внимание на природу возникновения этих веществ.

## 2.3 Природа возникновения загрязняющих веществ и существующие методы очистки

### 2.3.1 Сульфаты

Многие промышленные сточные воды, особенно связанные с добычей и переработкой полезных ископаемых, содержат высокие концентрации сульфатов.

Процесс экономически эффективного удаления сульфатов (от англ. The Cost Effective Sulfate Removal, далее CESR) был разработан для устранения недостатков других технологий, используемых для удаления сульфатов. Преимущества процесса CESR заключаются в следующем: низкие концентрации сульфата в очищенной воде, дополнительное удаление металлов и других параметров, никаких жидких отходов, минимальный объем опасных твердых отходов [4].

Снижение содержания сульфатов ниже 2000 мг/л в прошлом было возможно только с помощью дорогостоящих технологий, таких как обратный осмос или ионный обмен. Но недостатком таких технологий являются большие объемы жидких отходов что, как правило, создает дополнительные затраты на обработку и утилизацию. Процесс CESR может снизить концентрацию сульфата в большинстве сточных вод за счет использования запатентованного порошкообразного реагента.

Добавление реагента CESR к обработанной известью воде осаждает сульфат в виде почти нерастворимого соединения кальция-глинозема-сульфата, известного как этtringит. Образование этtringита может также обеспечить дополнительный эффект, позволяя осаждать трудноудаляемые металлы, такие как хром, мышьяк, селен и кадмий, часто ниже соответствующих пределов аналитического обнаружения. Металлы и другие компоненты, которые удаляет этtringит, обычно не выщелачиваются, что позволяет утилизировать их как неопасные отходы. Процесс CESR использует последовательную конструкцию для отделения любых шламов гидроксида металла от других осадков.

Процесс CESR является продолжением обработки сточных вод известью в том смысле, что он может отвечать более строгим требованиям к удалению сульфатов. Известь недорогая, легкодоступная и производит стабильные продукты, которые могут быть повторно использованы или утилизированы на свалках. В отличие от методов обработки, таких как добавление алюмината натрия, все химические вещества, добавляемые в процессе CESR, могут быть осаждены. Вода, обработанная методом CESR, как правило, соответствует или превышает рекомендуемые стандарты питьевой воды для сульфатов, металлов и других параметров. Этот процесс приводит к чистому снижению общего количества растворенных твердых веществ.

Процесс CESR может быть добавлен к существующей установке очистки сточных вод и спроектирован как полностью автоматизированный непрерывный процесс или ручная система периодического действия. Можно использовать

отдельные смесительные и отстойные баки или использовать такое оборудование, как осветлитель для размягчения извести, для комбинирования смешивания и отстаивания.

Фирменный реагент дозируется из расчета примерно 1:1 (реагент / сульфат). Реагент соединяется с растворимым сульфатом с образованием осадка этtringита. Во время осаждения этtringита в его структуру могут быть включены такие загрязняющие вещества, как нитрат, хлорид, фтор, бор и металлы. Нерастворимый гипс будет мешать этой реакции, если его не удалить на предыдущем этапе.

Это удаление сульфата занимает от 30 до 300 минут, в зависимости от количества добавляемого реагента, необходимого уровня удаления и других ионов в воде. Осадок этtringита легко обезвоживается и может быть повторно использован в этом процессе.

Этот процесс уже несколько лет успешно используется на многочисленных европейских заводах в различных отраслях промышленности. В ходе испытаний в течение последних нескольких лет целевые показатели концентрации сульфатов и металлов последовательно выполнялись примерно для 50 промышленных сточных вод различного состава. Достигнутые результаты, как правило, значительно ниже ПДС для промышленных сточных вод.

Помимо новой технологии существуют еще три типа систем очистки, которые удаляют сульфат из сточных промышленных вод: обратный осмос, дистилляция или ионный обмен.

Обратный осмос – это система очистки воды, которая удаляет большинство растворенных элементов и химических веществ, таких как сульфат, из воды, проталкивая воду через пластиковую поверхность, похожую на целлофан, известную как "полупроницаемая мембрана. Как правило, он может устранить от 93 до 99 % сульфата, все зависит от типа устройства.

Дистилляция – это система очистки воды, в которой вода кипит, а затем пар охлаждается до тех пор, пока он не конденсируется в отдельную емкость. Растворенные вещества, такие как сульфат, остаются в кипящем котле.

При правильной эксплуатации дистилляционные установки могут удалять почти 100% сульфата. Дистилляционным установкам требуется около четырех часов, чтобы произвести небольшое количество воды, поэтому этот вид обработки использует значительное количество энергии в своей работе.

Ионный обмен является наиболее известным методом удаления больших количеств сульфата из воды. Это процесс, в котором один элемент или химическое вещество заменяется другим.

Многие знакомы с умягчением воды, обычным типом ионообменной системы. Эта система работает путем пропускания "жесткой" воды (воды с кальцием и магнием) через резервуар, заполненный специальной смолой, насыщенной ионами натрия.

Минералы, которые вызывают жесткость, прилипают к смоле, а натрий растворяется в воде. Ионообменные системы для удаления сульфата используют другой тип смолы, но работают они аналогично. Сульфат-ионы в воде меняются местами с другими ионами, которые находятся на смоле, обычно хлоридом. Когда смола наполняется сульфатом, ее необходимо "регенерировать" с помощью солевого раствора.

Любая система очистки воды нуждается в адекватной эксплуатации и техническом обслуживании, чтобы обеспечить ее надлежащее функционирование с течением времени. Очень важно соблюдать рекомендации производителя по техническому обслуживанию системы водоподготовки.

### 2.3.2 Нитраты

Если нитраты и нитриты не удаляются, то сброс не полностью очищенных сточных вод вызовет избыточный рост водорослей в реках и ручьях. Этот избыток

водорослей истощает кислород, что приводит к гибели рыб и других важных организмов, а также к проблемам с запахом.

Нитраты и нитриты могут быть удалены из сточных вод анаэробными бактериями на очистных сооружениях. Бактерии, участвующие в этом процессе, – это бактерии *Pseudomonas* (синегнойная палочка). Эти бактерии нуждаются в кислороде, чтобы выжить, но они получают его, удаляя его из нитратов и нитритов в сточных водах, а не из атмосферы.

В процессе потребления нитратов и нитритов *Pseudomonas* производит элементарный азот, который составляет 78 процентов воздуха, которым мы дышим. Азот из нитратов и нитритов выделяется в атмосферу, где он больше не представляет угрозы для нашего здоровья или окружающей среды.

Традиционные технологии удаления нитратов включают в себя [25]:

1) Система TETRA Denite ®, представляющая собой процесс биологической денитрификации с фиксированной пленкой в сочетании с системой глубокой фильтрации, была разработана компанией Severn Trent в качестве другого типа биореактора с уплотненным слоем.

Его цель – обеспечить эффективное полное удаление азота и фосфора. Метанол обычно добавляется в качестве источника углерода с помощью автоматической системы управления дозированием для снижения химических затрат и минимизации биохимической потребности в кислороде (БПК) в очищенных сточных водах.

2) Мембранные биореакторы (от англ. Membrane bioreactors, далее MBR). MBR – это мембранный процесс, такой как микрофильтрация или ультрафильтрация в сочетании с суспендированным биореактором роста. Преимущества MBR по сравнению с обычными процессами, такими как биореакторы с упакованным слоем, являются небольшая площадь и легкая модернизация уже существующих очистных сооружений сточных вод.

Новые технологии удаления нитратов включают в себя:

1) Передвижной реактор биопленки (от англ. Moving Bed Biofilm Reactor, далее МВВР). Этот биологический процесс очистки сточных вод использует специализированные пластиковые носители для создания поверхности для прикрепления биопленки. Носители смешиваются в реакторе, и их большая площадь поверхности уменьшает объем реактора, необходимый для обработки.

2) Аронит (Автотрофное восстановление нитрата). Это технология биологической очистки с фиксированной пленкой для удаления окисленных загрязняющих веществ, таких как нитрат, перхлорат, шестивалентный хром и селенат. Аронитные системы основаны на бактериях, которые используют добавленный газообразный водород в качестве донора электронов и используют углерод, необходимый для синтеза клеток из бикарбоната в питательной воде или из добавленного углекислого газа.

Преимущества, перечисленные для этого процесса, заключаются в следующем: использование автотрофных бактерий, не требующих добавления органического углерода; относительно дешевый донор электронов (водород), который продается оптом или может быть получен на месте; легко контролировать скорость добавления водорода; нетоксичный донор электронов (водород), который не имеет остатка (хотя и очень легко воспламеняется); низкий выход биомассы, производящий меньше шлама, который должен быть потрачен впустую.

3) В SepticNET™ была разработана система, которая представляет собой модульный септик системы очистки. Система имеет четыре этапа обработки:

Установка аэробной обработки с аэрированным восходящим потоком/нисходящим потоком, упакованной колонной, фиксированным пленочным биореактором для преобразования аммиака в нитрат (нитрификация). Эта конструкция реактора, как сообщается, исключает закупорку и чрезмерное накопление биопленки, часто связанное с другими системами.

Богатая нитратами вода затем поступает в осветлитель, который захватывает отслаивающуюся биопленку от нитрификации и перекачивает ее обратно в септик.

Упакованный колонный биореактор с фиксированной пленкой для денитрификации, использующий в качестве источника углерода запатентованную углеродную среду. Эта среда нерастворима, нетоксична и слегка плавучая, чтобы свести к минимуму закупорку и короткое замыкание.

4) Очистные водно-болотные угодья. За последнее десятилетие более 5000 таких угодий были установлены по всему миру. Использование включает в себя очистку воды, улучшение среды обитания рыб и диких животных, а также защиту береговой линии. Применение водно-болотных угодий для удаления нитратов включает в себя сточные лагуны и ливневые пруды, где удаление нитратов составляет до 95%.

5) За последние пять лет компания Lentikats из Чешской Республики продвинула биотехнологию, которая иммобилизует чистые культуры бактерий (обычно присутствующие в активном иле) в пористые гранулы поливинилового спирта, называемые биокатализатором. Сточные воды диффундируют через губкообразные гранулы, в то время как захваченные бактерии биодеградируют загрязняющие вещества, такие как нитрат.

Заявленные преимущества включают в себя: более высокие скорости реакции приводят к уменьшению объема реактора; применение в высококонцентрированных потоках (до 3000 мг/л азота); снижение спроса на органический углерод; снижение производства шлама; применение к промышленным потокам, лишенным питательных веществ.

Эта технология была оценена примерно в 15 экспериментальных испытаниях и трех полномасштабных установках. Lentikats утверждает, что его гранулы биокатализатора могут непрерывно эксплуатироваться в течение как минимум десяти лет без замены или снижения эффективности.



## Другие технологии удаления нитратов

Ионный обмен (далее ИО) – это еще одна технология удаления не только сульфатов, но и нитратов. Большинство производителей смол для ИО производят ионо-специфичные смолы для таких загрязняющих веществ, как нитрат, которые минимизируют адсорбцию других катионов или анионов. Основным недостатком ИО является то, что он производит концентрированный шлам, который должен быть выгружен, утилизирован или дополнительно обработан. Однако объем шлама обычно ниже, чем при обратном осмосе.

Обратный осмос (далее ОО) также может быть использован для удаления нитратов из воды. ОО – это неселективная технология, поскольку она удаляет все ионные загрязнения из воды, особенно те, которые имеют более высокие валентности. Поскольку  $\text{NO}_3^-$  – это одновалентный ион, то при ОО он удаляется хуже, чем большинство других загрязняющих веществ. Из-за этого и более высокого объема шлама, чем в случае ИО или биологической обработки, ОО редко используется для удаления нитратов. Другие мембранные процессы, такие как микрофильтрация или ультрафильтрация, неэффективны для удаления нитратов, за исключением тех случаев, когда они используются в составе MBR.

### 2.3.3 Тяжелые металлы

Поскольку ионы тяжелых металлов не поддаются биологическому разложению, они могут накапливать свои количества по всей пищевой цепи. Поэтому крайне важно систематически удалять или минимизировать содержание ионов тяжелых металлов в сточных водах.

В настоящее время известны три широко используемых метода удаления тяжелых металлов: химическое осаждение, ионный обмен и адсорбция.

#### Химическое осаждение

Осаждение является важным адсорбционным механизмом при удалении тяжелых металлов. Это зависит от растворимости продукта соответствующего

металла, рН сточных вод и концентрации ионов металлов и соответствующих анионов. При равновесии скорость удаления ионов металлов в виде осадка равна скорости растворения из осадка.

Кроме того, совместное осаждение также является адсорбционным явлением в процессе удаления. Тяжелые металлы могут совместно осаждаться с вторичными минералами в сточных водах. Медь, никель, цинк, марганец и т. д. совместно осаждают в виде окислов железа и кобальта, железа, никеля и цинка совместно осаждают в виде окислов марганца.

Несмотря на то, что химическое осаждение является широко используемым методом, оно имеет недостатки, связанные с получением большого количества концентрированных и далее токсичных отходов шлама, что приводит к проблемам утилизации.

Кроме того, существуют пределы концентрации, до которых этот метод является экономичным, поскольку он может стать слишком дорогим или неэффективным для обработки отходов с концентрацией ионов металлов 100 мг/л или ниже.

### Ионообменный

Ионный обмен (ИО) может привлекать растворимые ионы из жидкой фазы в твердую фазу, что является наиболее широко используемым методом в водоочистой промышленности. Как рентабельный метод, процесс ионного обмена обычно включает недорогие материалы и удобные операции, и было доказано, что он очень эффективен для удаления тяжелых металлов из водных растворов, в частности для обработки воды с низкой концентрацией тяжелых металлов [7].

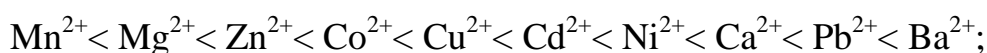
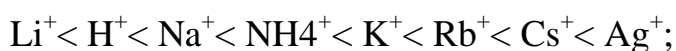
Ионообменные смолы – это нерастворимые в воде твердые вещества, которые могут поглощать положительно или отрицательно заряженные ионы из раствора электролита и высвобождать другие ионы с такими же зарядами в раствор в

эквивалентном количестве. По зарядам обмениваемых ионов ионообменники можно классифицировать как катионные или анионообменные.

Положительно заряженные ионы в катионных смолах, таких как ионы водорода и натрия, обмениваются с положительно заряженными ионами, такими как ионы никеля, меди и цинка, в объемных растворах. Аналогично, отрицательные ионы в смолах, такие как гидроксильные и хлоридные ионы, могут быть заменены отрицательно заряженными ионами, такими как хромат, сульфат, нитрат, цианид и растворенный органический углерод.

Различные ионы не связываются с активными (функциональными) группами ионообменной смолы с одинаковым сродством. Как уже говорилось ранее, многовалентные ионы обычно более сильно поглощаются из разбавленных растворов, чем ионы более низкой валентности. Для различных ионов они имеют следующий порядок превосходства:

Сильные кислотные катионообменные смолы



Сильные низкопробные анионообменные смолы



Ионный обмен переносит один или несколько ионных видов из одной жидкой фазы в другую через промежуточные твердые смолы. Для достижения этой цели группа ионных видов (целевые ионы), присутствующая в растворе, обменивается с другой группой ионных видов, принадлежащих к твердой фазе.

Поэтому целевые ионы, которые могут быть токсичными, драгоценными или загрязняющими веществами, влияющими на чистоту воды, концентрируются на смоле, в то время как нетоксичные, драгоценные или загрязняющие ионы

высвобождаются из смолы, чтобы заменить их в растворе. Кроме того, процесс ионного обмена обычно задумывается как обратимый.

Таким образом, отработанные смолы, как ожидается, будут регенерированы и повторно использованы. Использование регенерата может впоследствии снова высвободить ионы-мишени в раствор и позволить восстановить обменную емкость, так что он может быть применен снова на большем количестве исходного раствора.

### Адсорбция

Тяжелые металлы в сточных водах могут быть удалены путем адсорбции на твердых матрицах, таких как активированный уголь, оксиды металлов и сельскохозяйственные продукты, которые уже используются в качестве адсорбентов для удаления токсичных тяжелых металлов.

Адсорбция активированным углем является наиболее эффективным классическим способом, так как эффективность его удаления может составлять более 99% для некоторых ионов металлов. Однако из-за его относительно высокой стоимости, невозможности регенерации и рециркуляции были предприняты попытки использовать дешевые природные адсорбенты для удаления загрязняющих веществ из сточных вод.

Биосорбция является одной из наиболее перспективных технологий удаления токсичных металлов из водных растворов, городских и промышленных сточных вод. Она включает в себя недорогую, легкодоступную мертвую или живую биомассу (материалы биологического происхождения), которая удаляет тяжелые металлы из сточных вод.

Биосорбционные процессы обеспечивают преимущества извлечения металлов, регенерации биосорбента, минимизации объема, утилизируемого химического и / или биологического осадка и высокую эффективность детоксикации очень разбавленных сточных вод.

Биомасса активного ила – это новый технологический инструмент, который зарекомендовал себя как более эффективный и устойчивый метод биовыведения или биосорбции ионов металлов из осадка сточных вод.

Он может снизить концентрацию ионов металлов до экологически приемлемых уровней по доступной цене. Проведенные исследования показали, что такая биосорбция является устойчивым методом и эффективной системой, которая может удалять 59,3%, 68,5% и 86,5% ионов Cd(II), Pb(II) и Zn(II) соответственно из промышленных сточных вод, очистных сооружений и осадка городских сточных вод.

Железо и марганец часто встречаются в водных источниках в их растворенном состоянии. Традиционные технологии включают преобразование этих растворенных форм в твердые частицы, которые могут быть очищены и отфильтрованы. Переход от растворенных форм к твердым частицам требует использования окислителя. Традиционные формы окисления хорошо изучены и могут быть успешно использованы. Технологии седиментации и фильтрации хорошо подходят для удаления твердых частиц, они, как правило, просты в эксплуатации.

### 3 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

#### 3.1 Предложения по модернизации очистных сооружений промышленных сточных вод

Принципиальная технологическая схема ОСПСВ показана на рисунке 3.

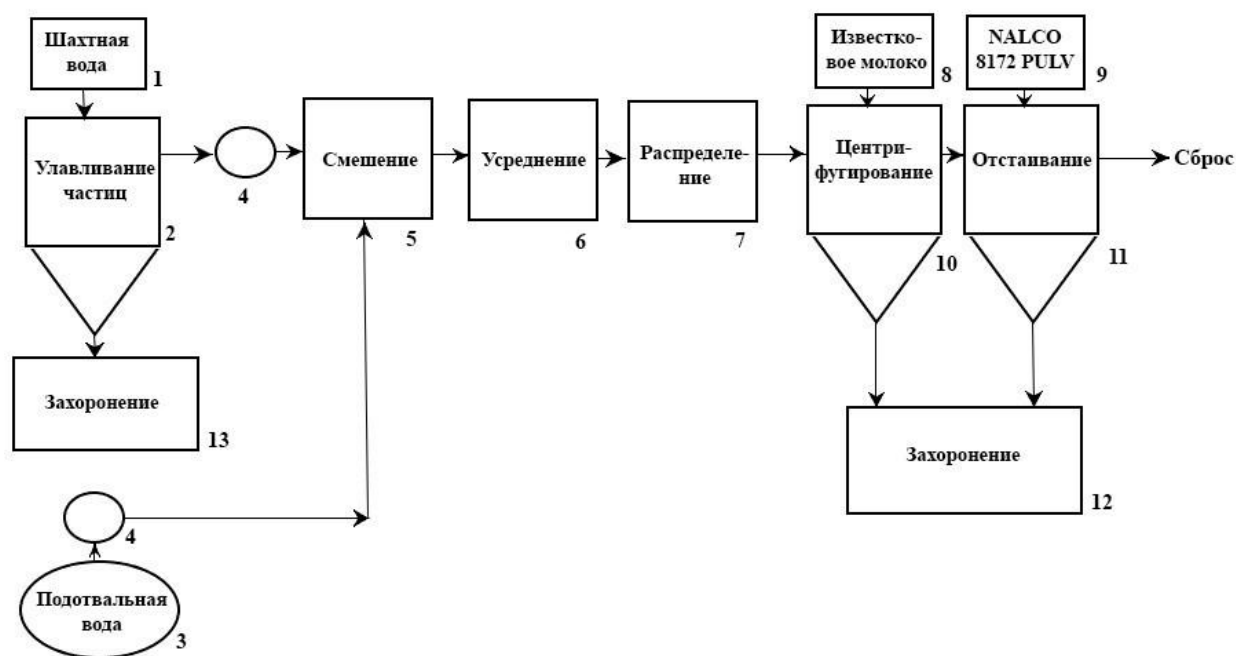


Рисунок 3 – Принципиальная технологическая схема очистки сточных вод на ОСПСВ исследуемого ГОКа:

1 – шахта; 2 – пескоуловки; 3 – хвостохранилище (1); 4 – насосные станции; 5 – камера переключения; 6 – резервуары-усреднители; 7 – промежуточные емкости; 8-9 – расходные емкости известкового молока и флокулянта NALCO 8172 PULV соответственно; 10 – тангентсальные песколовки; 11 – вертикальные отстойники; 12 – хвостохранилище (2); 13 – песковые площадки

Шахтные воды напорным трубопроводом подаются через две пескоуловки с круговым движением воды в насосную станцию шахтных вод и далее насосом подаются в камеру переключения, где перемешиваются с подотвальными водами.

Смесь шахтных и подотвальных вод в соотношении 3:1 напорным трубопроводом подается в усреднители, откуда самотеком поступает в

промежуточные емкости, расположенные в здании очистных сооружений. Далее насосами кислые воды подаются в четыре тангенциальные песколовки.

Для нейтрализации сточных вод непосредственно в тангенциальные песколовки дозируется не менее 5 % раствор известкового молока из расходных емкостей.

В тангенциальных песколовках происходит смешение реагентов с исходной водой и отделение грубых дисперсных примесей. Песок из песколовок самотеком удаляется на песковые площадки.

Нейтрализованная вода, прошедшая песколовки, подается через распределительные камеры на сооружения осветления – вертикальные отстойники, сгруппированные в четыре узла по четыре отстойника в каждом узле.

Для увеличения эффекта осветления в распределительные камеры каждой группы вертикальных вводится раствор анионоактивного флокулянта. Продукты реакции: взвешенные вещества, преимущественно в виде гидроксидов тяжелых металлов и сульфата кальция осаждаются в отстойниках.

Осадок из отстойников под гидростатическим давлением поступает в усреднительную емкость на  $100\text{м}^3$ , где при помощи борботожа шламовые осадки перемешиваются, затем подаются на декантерные установки.

Осветленная вода с отстойников самотеком поступает в промежуточные емкости и далее насосами перекачивается на сброс в водоем рыбохозяйственного назначения.

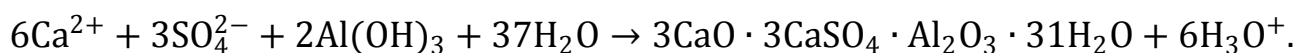
Стандартная схема очистки сточных вод на ОСПСВ исследуемого ГОКа, представленная ранее, не обеспечивает должной очистки до нормативов. Именно поэтому, мы предлагаем ввести доочистку (тонкая очистка сточных вод).

Многие ГОКи работали с мембранными технологиями с частичным успехом. Они становятся все менее привлекательным вариантом из-за их высокого энергопотребления и связанных с ним отходов, образующихся в результате этого процесса. На наш взгляд, рационально ввести дополнительный цикл, в котором при добавлении определенных реагентов, будет получен этрингит.

Минеральное соединение этtringит  $[3\text{CaO} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 31\text{H}_2\text{O}]$  встречается в природе редко, но широко распространено для цементных материалов. Этtringит имеет широкое техническое применение в качестве минерального наполнителя и глянцевого белого пигмента в керамической и бумажной промышленности.

Кроме того, канальная структура этtringита обуславливает его высокую ионообменную способность. Это свойство может быть использовано для переработки промышленных отходов. Таким образом, устойчивый и чистый синтез этtringита может быть дополняющим способом очистки промышленный сточных вод от таких соединений, как сульфаты, нитраты и тяжелые металлы [24].

Осаждение этtringита описывается следующей реакцией:



Технологическая схема процесса осаждения этtringита проиллюстрирована на рисунке 4. Часть этtringитового осадка из вертикального отстойника 9, где происходит осаждение этtringита, рециркулируется и смешивается со сточной водой после очистки известковым молоком в емкости 1, где происходит растворение этtringита. Если кислотность и / или концентрация металла в сточной воде достаточно высоки, то этtringит будет растворен в достаточном количестве.

Разложение этtringита является обратным образованию этtringита и образует гиббсит (также известного, как  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ), который возвращается в цикл для повторного использования. Твердые вещества, образующиеся в промежуточной емкости 1, не отделяются и переносятся насосом, куда непосредственно подается и известь, в вертикальный отстойник 4, где происходит образование шлама. Кальций и сульфат в этtringите и большая часть сульфата в сточной воде выпадут в осадок.



Алюминий может быть переработан из этtringитового шлама без использования стадии добавления кислоты. Вместо этого процесс использует кислую природу питательных сточных вод в сочетании с типично высоким содержанием железа и других многовалентных металлов. Поэтому шлам, образующийся в отстойнике 4, будет содержать алюминий для рекуперации, чтобы свести к минимуму все возможные потери от этого процесса.

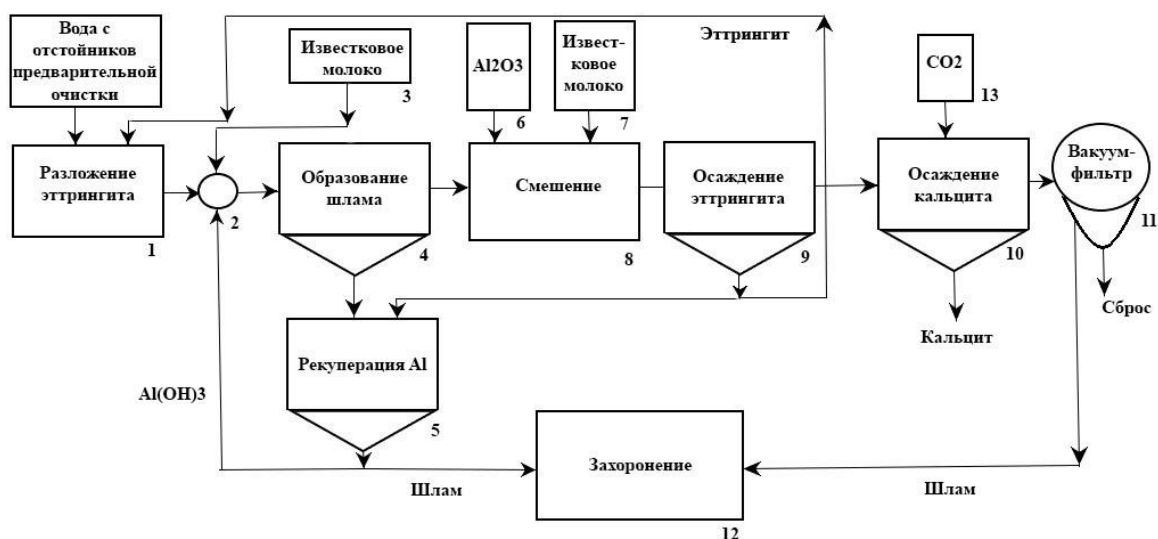


Рисунок 4 – Технологическая схема цикла доочистки с образованием этtringита: 1,8 – промежуточные емкости; 2 – насос; 3,7 – расходные емкости известкового молока с дозаторами; 4, 9-10 – вертикальные отстойники; 5 – гидроциклон; 6 – расходная емкость высоко-глиноземистого цемента с дозатором; 11 – вакуум-фильтр; 12 – хвостохранилище (2); 13 – дозатор подачи  $\text{CO}_2$

Гидроциклонная технология используется для отделения шлама как от гидроксида алюминия, так и от других гидроксидов металлов. Образовавшаяся богатая алюминием суспензия (переполнение гидроциклона) возвращается в цикл (подается на насос 2), где она вступает в контакт с оставшимся сульфатом и известью для повторного осаждения этtringита.

Оставшийся шлам направляется в хвостохранилище 12. Одной из особенностей процесса роста кристаллов этtringита является его способность

включать в свою кристаллическую структуру значительные количества таких компонентов, как сульфаты, нитраты.

После этого сточная вода самотеком поступает в промежуточный резервуар, где происходит смешение высокоглиноземистого цемента, известкового молока и сточной воды, после чего поток направляется в вертикальный отстойник 9. Тут происходит повторное осаждение этtringита: часть направляется обратно в цикл, другая – на рекуперацию.

Следующим этапом является осаждение кальцита, которое происходит в отстойнике 10, для этого туда поступает диоксид углерода из трубопровода 13. Получают  $\text{CO}_2$  на комбинате при производстве извести на нужды ГОКа, в частности станции нейтрализации. При обжиге карбонатных пород выделяются отходящие газы с содержанием углекислоты до 60% (при подаче в печи воздуха, обогащенного кислородом). Полученный в ходе реакции кальцит можно использовать как в качестве строительного материала для самого ГОКа, так и для продажи.

Отстоявшаяся вода поступает на заключительный этап очистки: вакуумный фильтр. Именно он обеспечивает более мелкодисперсную очистку промышленной сточной воды. Использовать его в самом начале цикла не рационально, так как образуются грубые частицы, что приведет к быстрому засорению фильтра.

Задержавшиеся частицы выводятся из фильтра и направляются в хвостохранилище 12. А вода, прошедшая полный цикл доочистки сбрасывается в водоем рыбохозяйственного назначения. Данная схема обеспечивает высокую степень очистки от загрязняющих веществ. Чтобы убедиться в этом наглядно, произведем расчеты в следующем разделе.

### 3.2 Оценка эффективности работы цикла доочистки

Предложенный цикл активно используется на ОСПСВ ГОКов в Европе и США. Проведенные исследования в этой области показали хорошие результаты, степень очистки составила 99 %.

Данный показатель позволяет оценить концентрации загрязняющих веществ, по которым ранее были зафиксированы превышения, после цикла доочистки. Полученные данные отразим в таблице 6.

Таблица 6 – Концентрации загрязняющих веществ после цикла доочистки

Наименование загрязняющих веществ	Количество сбрасываемых загрязняющих веществ (без цикла), г/ч	Количество сбрасываемых загрязняющих веществ (с циклом), г/ч	ПДС, г/ч
Нитрат-анион	8932	89,32	2871
Сульфат-анион	89958	899,58	31900
Железо	44,7	0,45	31,9
Медь	2,9	0,03	0,3
Цинк	8,6	0,09	3,2
Марганец	6,4	0,06	3,2

Анализируя данные из таблицы 6 заметили, что предполагаемые концентрации загрязняющих веществ во много раз ниже ПДС. Стоит отметить важные преимущества данного цикла:

- снижение концентрации трудно выводимого сульфат-аниона;
- возможность удаления загрязняющих веществ разного вида в одном цикле;
- снижение концентрации загрязняющих веществ до нормативных значений;
- повторное использование реагента;
- получение дополнительного продукта на основе кальцита, который можно использовать в строительстве как цементирующую добавку.

Помимо всего выше перечисленного стоит обратить внимание, что данные расчеты опираются на результаты исследований за границей. В настоящее время в России эта технология не зарегистрирована. Прежде всего, перед внедрением разработанной технологии на существующих ОСПСВ исследуемого ГОКа, необходимо провести предварительные испытания и рассмотреть, как себя поведет заявленный реагент в лабораторных условиях при очистке воды заданного состава.

### 3.3 Подбор аппаратного оформления системы доочистки

#### Промежуточные емкости

Промежуточные емкости (1,8) могут изготавливаться как из нержавеющей стали различных марок, так и из пластмассы. Учитывая, что в нашем цикле в данных резервуарах происходит смешение реагентов, основным материалом для изготовления выбираем нержавеющая сталь марки Ст3сп.

Рекомендуется делать резервуары цилиндрическими в виду малой площади и большой вместимости. Примерная конструкция представлена на рисунке 5. Предполагаемая вместимость с учетом расхода составляет  $200\text{м}^3$ , необходимо установить 2 таких резервуара.

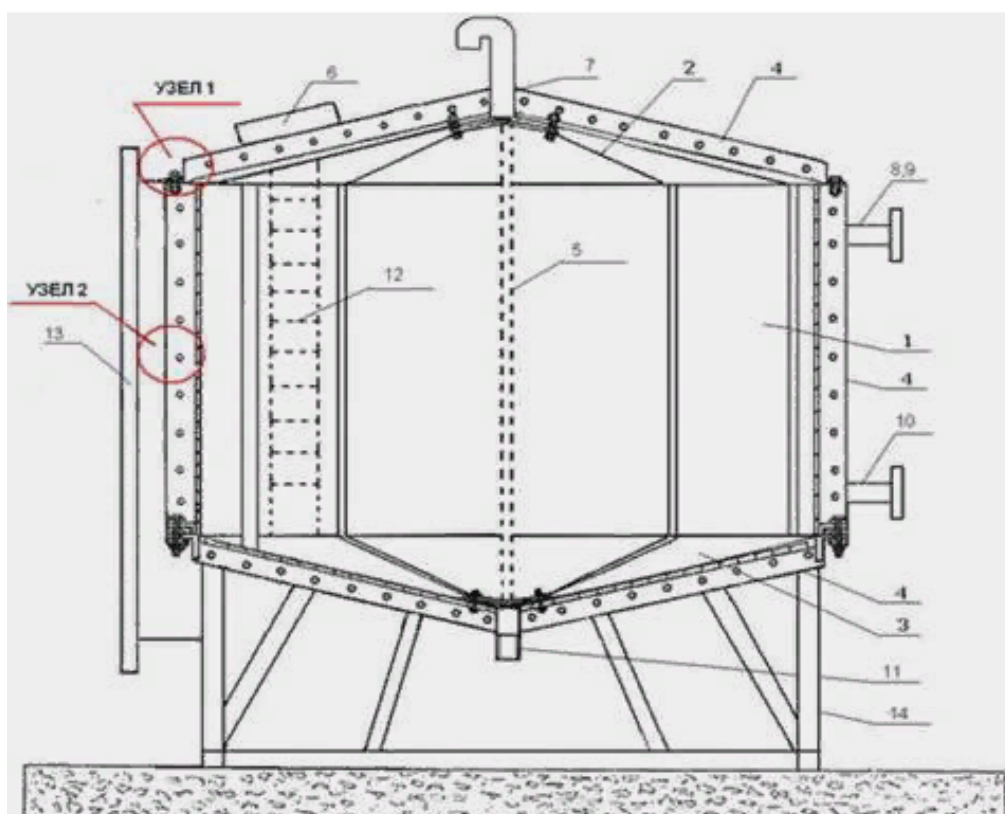


Рисунок 5 – Конструкция промежуточной цилиндрической емкости РСВ -  $200\text{м}^3$ :  
1 – стенная панель; 2 – крышная панель; 3 – донная панель; 4 – профили крепления панелей (стенные, донные, крышные); 5 – внутренняя вертикальная стойка; 6 – люк - лаз с ручкой; 7 – дыхательный патрубок; 8,9 – заливной и

переливной фланцы; 10 – сливной фланец; 11– дренажный фланец; 12 – внутренняя лестница; 13 – наружная лестница; 14 – профили опорного каркаса

Основывая на перечисленных характеристиках, выбираем промежуточные цилиндрические емкости из нержавеющей стали РВС - 200 м<sup>3</sup>. Технические характеристики выбранного резервуара отражены в таблице 7.

Таблица 7 – Технические характеристики РВС - 200

Наименование параметра	Величина параметра
Номинальный объем, м <sup>3</sup>	200
Внутренний диаметр стенки, мм	6630
Высота стенки, мм	6000
Стенка РВС – 200 м <sup>3</sup>	
Количество поясов, шт	4
Толщина верхнего пояса, мм	5
Толщина нижнего пояса, мм	5
Днище РВС – 200 м <sup>3</sup>	
Толщина центральной части, мм	5
Крыша РВС – 200 м <sup>3</sup>	
Толщина настила, мм	5
Масса конструкции РВС – 200 м <sup>3</sup> , кг	
Стенка	5033
Днище	1470
Крыша	1690
Лестница	1030
Площадки на крыше	650
Люки и патрубки	706
Комплекующие конструкции	87

Каркасы и упаковка	2100
Всего	12766

### Центробежные насосы

Центробежные насосы (2), предназначенные для перекачки сточных вод, должны удовлетворять особым требованиям, обусловленным составом сточной жидкости, содержащей большое количество крупных и мелких частиц.

Состав сточной жидкости обуславливает некоторые конструктивные особенности динамических насосов: рабочее колесо закрытого типа значительно шире и имеет меньшее количество лопаток, чем у насосов, перекачивающих воду для водоснабжения городов; лопаткам придается более обтекаемая форма и на входном патрубке имеются люки – ревизии, через которые можно произвести очистку колеса и корпуса в случае засорения; внутренняя полость корпуса защищена сменными дисками.

Динамические насосы для сточной жидкости подразделяются на центробежные (далее СД) и свободновихревые (далее СДС). Предназначены для перекачки хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод. По расположению вала насосы могут быть горизонтальными (Г); вертикальными (В); полупогружными (П).

Корпус центробежного насоса имеет спиральный отвод упрощенной формы без выступающих частей. Проточные каналы насоса выполняются более широкими по сравнению с насосами для систем водоснабжения. Обтекаемая поверхность рабочего колеса позволяет устанавливать его заподлицо с поверхностью спирального канала.

Рассмотрев существующие виды насосов рационально выбрать вертикальный центробежный насос Wilo – VeroLine – IPL 40/160-0,37/4, так как по своему объему он занимает мало места, обладает большей пропускной способностью по сравнению с другими [18]. На рисунке 6 представлено устройство выбранного насоса.

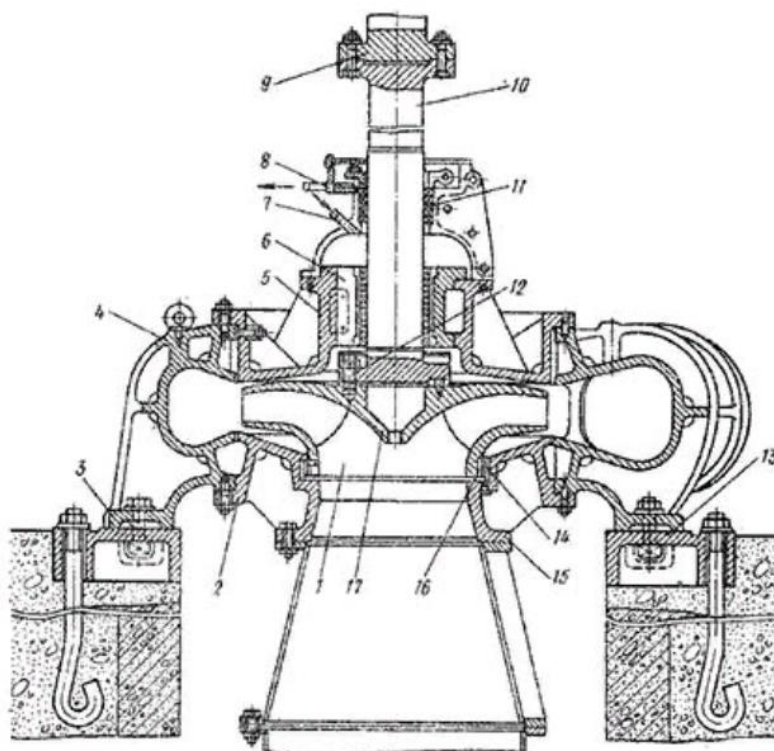


Рисунок 6 – Устройство насоса Wilo –VeroLine-IPL 40/160-0,37/4:

1 – рабочее колесо; 2 – нижняя крышка; 3 – опорные лапы; 4 – корпус насоса; 5 – верхняя крышка; 6 – направляющий подшипник; 7 – подвод чистой воды; 8 – отвод дренажных вод; 9 – фланец; 10 – вал рабочего колеса; 11 – сальниковое уплотнение; 12 – фланец вала; 13 – фундаментная плита; 14 – уплотняющее кольцо; 15 – входной патрубок; 16 – защитное кольцо; 17 – колпак.

#### Технические характеристики

- Допустимый диапазон температур от -20° С до +140° С;
- Подключение к сети 3~400 В, 50 Гц;
- Класс защиты IP 55;
- Номинальный внутренний диаметр от DN 32 до DN 250;
- Макс. рабочее давление 16 бар.

#### Описание/конструкция

Одноступенчатый вертикальный центробежный насос в исполнении Inline со следующими элементами:



- Скользящее торцовое уплотнение
- Фланцевое соединение со штуцером для замера давления R 1/8
- Соединительный элемент
- Муфта
- Электродвигатель

Базовое значение КПД для насосов более 0,70. За счет корректировки рабочего колеса насос настраивается на определенную рабочую точку, в результате чего снижается энергопотребление.

При различных рабочих точках данный насос может работать эффективнее и экономичнее, если, например, управление его работой осуществляется путем регулирования переменной частоты вращения, благодаря которому насос адаптируется к характеристикам соответствующей системы. Примерное энергопотребление 150 кВт/ч.

#### Расходные емкости

Расходные емкости (3,6,7) являются важной частью технологической схемы, именно из них реагенты дозатором подаются в цикл доочистки. Как и промежуточные емкости они изготавливаются из нержавеющей стали и имеют вертикальный цилиндрический вид. Объем поступающих реагентов в разы меньше, чем объем сточных вод, поэтому необходимо установить расходные емкости РВС – 50м<sup>3</sup> в количестве 3 шт. Технические характеристики отражены в таблице 8.

Таблица 8 – Технические характеристики РВС – 50 м<sup>3</sup>

Наименование параметра	Величина параметра
Номинальный объем, м <sup>3</sup>	50
Внутренний диаметр стенки, мм	3770
Высота стенки, мм	4470
Стенка РВС – 50 м <sup>3</sup>	
Количество поясов, шт	4
Толщина верхнего пояса, мм	5
Толщина нижнего пояса, мм	5
Днище РВС – 50 м <sup>3</sup>	
Толщина центральной части, мм	4
Крыша РВС – 50 м <sup>3</sup>	
Толщина настила, мм	4
Масса конструкции РВС – 50 м <sup>3</sup> , кг	3190

#### Отстойники

В предложенном цикле также необходимо использовать отстойники (4,9,10). В уже существующей схеме очистки сточных вод используются вертикальные отстойники, так как производительность ОСПСВ высокая. Поэтому следует использовать в предложенном цикле точно такие же отстойники в общем количестве 9 шт. Более подробно они описаны в разделе 1.4.3.

#### Гидроциклоны

Гидроциклоны (5) стали стандартным методом отделения дисперсных твердых веществ от жидких во всей химической и минеральной промышленности. Эти устройства используют центробежные силы для разделения двух минералов различной плотности или для обезвоживания одного минерала. Устройства

обладают высокой производительностью и низкими капитальными, эксплуатационными и эксплуатационными затратами.

Питательная суспензия поступает через тангенциальный вход в верхней части гидроциклона. Круговой поток жидкости направляет более тяжелые частицы к внешней стенке под действием центробежной силы. Радиальное движение затруднено силой сопротивления, поскольку частицы движутся через несущую жидкость. По мере того как поток опускается в гидроциклон, слой, прилегающий к стенке гидроциклона, становится нагруженным тяжелыми частицами, которые выходят из устройства через нижний поток. Подробная конструкция гидроциклона представлена на рисунке 7.

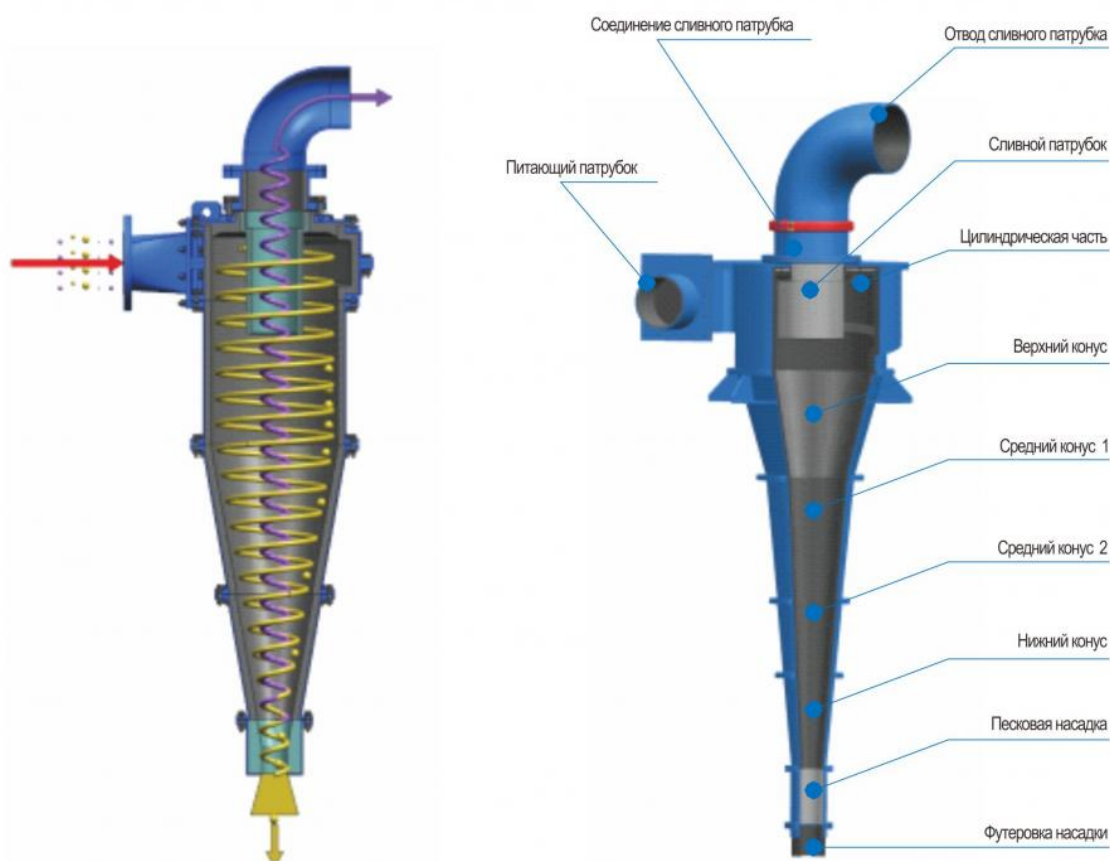


Рисунок 7 – Конструкция гидроциклона

Магнитный гидроциклон был разработан как естественное продолжение обычного гидроциклона с целью обеспечения дополнительной внешней

магнитной силы для подавления гравитационных и центробежных сил, вызывающих классификацию и разделение. Такой внешней силой можно более эффективно манипулировать разделением в широком спектре экспериментальных условий.

Один из типов имеет магниты на внешней стороне корпуса гидроциклона, притягивающие магнитные компоненты к нижнему потоку. Разработанные магнитные устройства включают дипольный электромагнит, квадрупольный электромагнит и квадрупольные постоянные магниты. Все эти устройства имели различные степени успеха в улучшении извлечения частиц гиббсита ( $Al_2O_3$ ).

Основываясь на технических характеристиках, приведенных в таблице 9, выбираем для нашего цикла доочистки гидроциклон ГЦК – 500 в количестве 1 шт.

Таблица 9 – Технические данные и характеристики гидроциклона ГЦК – 500

Наименование параметра	Величина параметра
Диаметр цилиндрической части, мм	500
Угол конуса конусной части, град	20
Диаметр сливного отверстия, мм	150
Крупность слива при оптимальном режиме, мкм	50-200
Диаметр пескового отверстия, мм	12-75
Производительность по питанию, при давлении 0,1 Мпа, м <sup>3</sup> /час, не менее	100-300
Габаритные размеры, мм и вес, кг	890×890×2312 560

#### Вакуумный фильтр

Вакуумный фильтр (11) состоит из большого барабана с крошечными отверстиями, вращающегося в чане, и является заключительным этапом очистки сточных вод. Он часто используется для обезвоживания и извлечения

отработанного осадка чтобы обеспечить сброс качественно очищенной воды. Он имеет непрерывный цикл действия, в который входят операции фильтрования, обезвоживания, удаления осадка и регенерации фильтроткани.

Последовательность вращающегося вакуумного фильтра сначала включает формирование слоя осадка, в результате чего он будет действовать как твердая среда для отфильтровывания последующих твердых частиц. Когда это произойдет, вакуум, присутствующий в системе, высосет воду из твердого осадка, а затем перенаправит ее в приемник. Для удаления этого слоя требуется механизм, который обычно включает в себя скребок, а затем следует этап промывки среды. Регенерация фильтроткани проводится с помощью промывания водой, или же продувания сжатым воздухом [23].

Существуют различные типы вакуумного фильтра: барабанный; ленточный фильтр; фильтр типа катушки. Барабанные фильтры используются в основном для удаления воды из осадков, имеющих однородный фракционный состав и небольшую скорость осаждения. Эти вакуум-фильтры состоят из цилиндрического барабана, расположенного в горизонтальной плоскости, и частично погруженного в емкость, куда поступает осадок, подаваемый на обезвоживание. Схема барабанного вакуум-фильтра представлена на рисунке 8.

Стенки барабана состоят из сплошного внутреннего и перфорированного наружного слоя, обтянутого фильтровальной тканью. Внутреннее полое пространство, в свою очередь, разделяется на секции, к каждой из которых подведен коллектор для отвода фильтрата, выходящий в один из барабанных торцов и имеющий на своем конце цапфу, к которой прижимается распределительная головка.

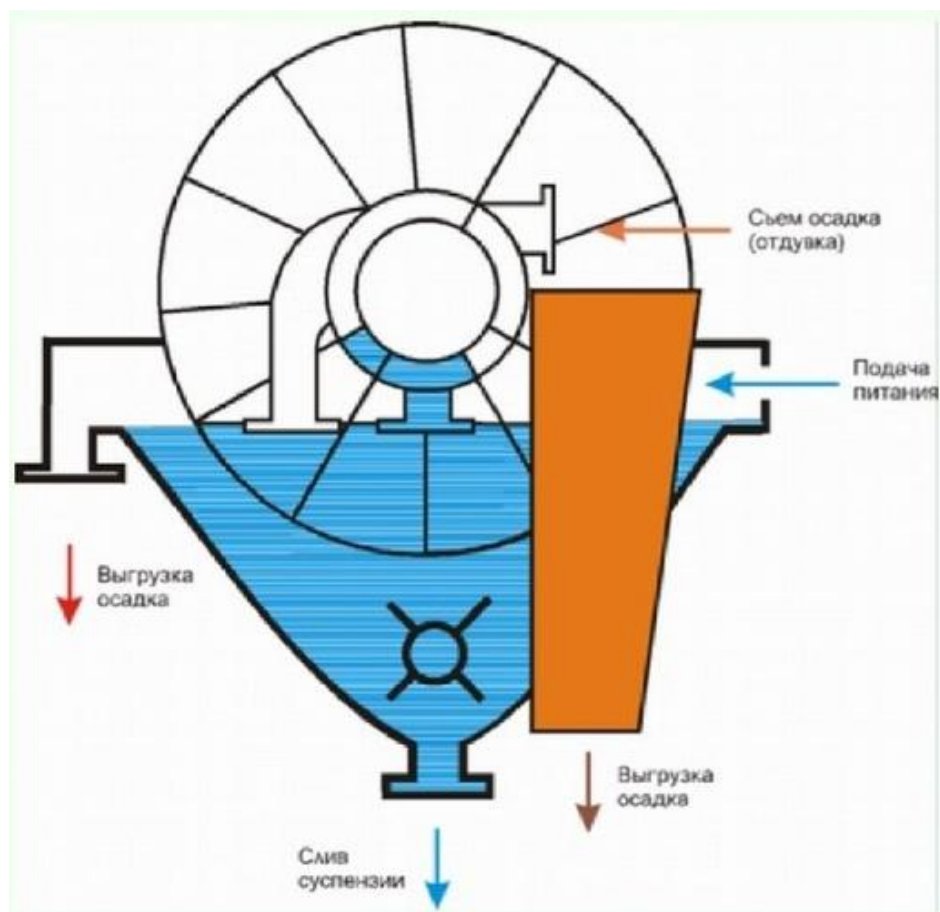


Рисунок 8 – Схема барабанного вакуум-фильтра

Другой тип вакуумного фильтра называется ленточным фильтром. Блок состоит из большого рулона поворотной ленты, выровненной на поверхности барабана, который действует как фильтрующая среда.

По мере того как лента поворачивается и волочится по резкому изгибу, осадок на поверхности начнет разрыхляться, а затем отваливаться, собираясь в приемник. Главное преимущество использования ленточного типа заключается в том, что удаление осадка происходит гораздо более полно при промывке с обеих сторон ленточного фильтра по сравнению с использованием только одного барабана со скребковым лезвием.

Тип катушки включает в себя более сложный механизм, так как к барабану прикреплена спиральная пружина из нержавеющей стали, которая действует как фильтрующий материал. Единственным недостатком является высокое требование к техническому обслуживанию.

На основании сравнения различных типов вакуум-фильтров выбираем барабанный вакуум-фильтр БОН40 – 3,0 – 1У в количестве 1 шт. Все технические характеристики представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Технические характеристики барабанного вакуум-фильтра БОН40 – 3,0 – 1У

Наименование параметра	Величина параметра
Материал:	
барабан	Ст3сп5
корыто	Ст3сп3
Площадь поверхности фильтрации, м <sup>2</sup>	40
Вакуум-рабочий, МПа	0,085
Температура разделяющей среды, °С	от 0 до 95
Частота вращения барабана, с-1 (об/мин.)	0,0016÷0,016 (0,1÷1,0)
Потребляемая мощность приводов, кВт, не более:	6
Масса фильтра, кг	18750
Габаритные размеры:	
длина, мм	7550
ширина, мм	4280
высота, мм	3710

Получить необходимый нам диоксид углерода можно из воздуха по новой технологии. Метод, основанный на пропускании воздуха через стопку заряженных электрохимических пластин, который был разработан Сахагом Воскианом во время своей докторской диссертации и профессором химической инженерии Ральфа Ландау.

На исследуемом нами ГОКеСО<sub>2</sub> получают при производстве извести на нужды самого предприятия, в частности станции нейтрализации. При обжиге карбонатных пород выделяются отходящие газы с содержанием углекислоты до 60% (при подаче в печи воздуха, обогащенного кислородом).

Если такой источник отсутствует, можно воспользоваться описанной ниже технологией получения диоксида углерода из воздуха. Несомненно, это потребует дополнительных затрат на закупку оборудования и электроэнергию.

Устройство представляет собой, по существу, большую специализированную батарею (13), которая поглощает углекислый газ из воздуха (или другого потока газа), проходящего через ее электроды, когда он заряжается, а затем выпускает газ, когда он разряжается. В процессе работы устройство будет просто чередоваться между зарядкой и разрядкой, при этом свежий воздух будет продуваться через систему во время цикла зарядки, а затем чистый, концентрированный углекислый газ будет выдуваться во время разрядки [27].

По мере того как батарея заряжается, на поверхности каждого из множества электродов происходит электрохимическая реакция. Они покрыты соединением под названием полиантрахинон, которое состоит из углеродных нанотрубок. Электроды обладают естественным сродством к углекислому газу и легко реагируют с его молекулами в воздушном потоке или питающем газе, даже если он присутствует в очень низких концентрациях. Обратная реакция происходит, когда аккумулятор разряжается — во время которой устройство может обеспечить часть мощности, необходимой для всей системы — и в процессе выбрасывает поток чистого углекислого газа. Вся система работает при комнатной температуре и нормальном давлении воздуха.



#### 4 РАСЧЕТ СРОКА ОКУПАЕМОСТИ ЦИКЛА ДООЧИСТКИ

Технологический цикл доочистки сточных вод позволяет получить товарный продукт кальцит, который также может быть использован на самом ГОКе в качестве строительного материала. Средняя стоимость товара на рынке составляет 50 руб./кг. Тогда прибыль (экономия) примерно составит 68250 руб. за месяц (в среднем 21 рабочий день).

Существующая технологическая схема очистки сточных вод имеет огромный недостаток – зафиксированы значительные превышения по сульфатам, нитратам и тяжелым металлам. Именно поэтому исследуемый ГОК регулярно выплачивает штраф за превышение, который высчитывается как произведение кратности превышения концентрации сточных вод по сравнению с ПДС и размера штрафа в соответствии с величиной превышения для каждого загрязнителя. Ниже приведен расчет размера штрафных санкций для исходных данных исследуемого ГОКа, включающий учет таких видов загрязняющих веществ, как сульфаты, нитраты, ионы железа, меди, цинка и марганца:

$$2,82 \cdot 450\,000 + 3,11 \cdot 340\,000 + 1,4 \cdot 80\,000 + 9,6 \cdot 100\,000 + 2,7 \cdot 80\,000 + 2 \cdot 80\,000 = 3\,774\,400 \text{ руб. в год.}$$

Стоимость технологического оборудования, необходимого для оснащения предложенного цикла доочистки представлена в таблице 11.

Монтаж комплектующих системы и доставку (транспортные расходы) учитываем только для вертикального центробежного насоса, гидроциклона и барабанного вакуум-фильтра, которые составит 10 % и 7 % от суммы затрат на их приобретение соответственно. Для остального оборудования доставка и монтаж бесплатно.

Таким образом, на монтаж затраты составят:

$$(42\ 000 + 8\ 000 + 62\ 500) \cdot 0,1 = 11\ 250 \text{ руб.}$$

А на доставку:

$$(42\ 000 + 8\ 000 + 62\ 500) \cdot 0,07 = 7\ 875 \text{ руб.}$$

Расчет потребления электроэнергии производится по следующим формулам [17]:

$$W_{\text{сил}} = \frac{\Sigma P \cdot T_{\text{эф}} \cdot K_3 \cdot K_0}{K_n \cdot \text{КПД}} = \frac{276 \cdot 494 \cdot 0,8 \cdot 1}{0,95 \cdot 0,9} = 127\ 573 \text{ кВт},$$

где  $\Sigma P$  - установленная мощность всех двигателей цеха, кВт;

$T_{\text{эф}}$  - эффективный фонд времени работы оборудования цеха за месяц, час;

$K_3$  - коэффициент загрузки (0,7-0,8);

$K_0$  - коэффициент одновременности включения двигателей (0,9-1,0);

$K_n$  - коэффициент потери в сети (0,95);

КПД - коэффициент полезного действия (0,85-0,9).

$$W_{\text{сил}} = \frac{P \cdot F \cdot T_r \cdot K_0}{1000 \cdot \text{КПД}} = \frac{15 \cdot 450 \cdot 494 \cdot 1}{1000 \cdot 0,95} = 3\ 510 \text{ кВт},$$

где  $P$  - удельная мощность освещения;

$F$  - площадь цеха, м<sup>2</sup>;

$T_r$  - число часов горения светильников за месяц, час;

КПД - коэффициент полезного действия (0,95).

Тогда, стоимость электроэнергии за месяц при тарифе 3,4 руб./ кВт·ч составит:

$$(127\ 573 + 3\ 510) \cdot 3,4 = 445\ 682 \text{ руб.}$$

Для того, чтобы рассчитать через какое время окупится предложенный цикл доочистки, составим уравнение:

$$\text{Срок окупаемости} = \frac{\text{Размер вложений}}{\text{Годовая прибыль}} = \frac{12\,709\,809}{4\,593\,400} = 2,77 \text{ года}$$

Общий итог по затратам на оборудование – 12 709 809 руб.

Таким образом, приобретенное оборудование окупится за 2 года и 9 месяцев. Полученный срок окупаемости очень высокий, помимо этого предложенный цикл позволит колоссально улучшить экологическую ситуацию природных водоемов.

Таблица 11 – Стоимость оборудования и реагентов

Наименование	Стоимость, в руб.
<b>Оборудование</b>	
РВС – 200 м <sup>3</sup> , 2 шт	762 000
Вертикальный центробежный насос Wilo –VeroLine - IPL 40/160-0,37/4, 1 шт	42000
Расходные емкости, 3 шт	285 750
Вертикальные отстойники, 9 шт	3 150000
Гидроциклон, 1 шт	8000
Барабанный вакуум-фильтр БОН 40 – 3,0 – 1У, 1 шт	62 500
<b>Реагенты</b>	
Этрингит, 15 кг	27000
Высокоглиноземистый цемент, 30 кг	5250
<b>Ежемесячные затраты</b>	
Электроэнергия за месяц при тарифе 3,4 руб./ кВт·ч	445 682
Зарплата рабочим, руб./мес	250000

## 5 ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ ЗА СОБЛЮДЕНИЕМ ТРЕБОВАНИЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОКа

### 5.1 Производственный контроль, виды и задачи

Изучаемый ГОК организует и осуществляет производственный контроль за соблюдением требований промышленной безопасности на опасных производственных объектах (далее ОПО) согласно Положению, разработанного на основе ФЗ «О промышленной безопасности ОПО» №116-ФЗ от 21 июля 1997 г. [16].

Производственный контроль за соблюдением требований промышленной безопасности является составной частью системы управления промышленной безопасностью и направлен на обеспечение комплекса мероприятий по безопасному функционированию опасных производственных объектов, а также предупреждение возможных аварий на этих объектах и обеспечение готовности к локализации аварий и инцидентов, ликвидации их последствий.

Ответственность за организацию и осуществление производственного контроля несет генеральный директор. Ответственным за осуществление производственного контроля является начальник Управления производственного контроля, охраны труда и промышленной безопасности (Управления ПК ОТ и ПБ) – Руководитель службы производственного контроля (СПК).

Основной принцип действия производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности и охраны труда – это регулярные проверки, проводимые руководителями всех уровней управления производством [16]. Производственный контроль проводят по следующим уровням:

V уровень– генеральный директор, технический директор, зам генерального директора начальник Управления ПК ОТ и ПБ - руководитель и специалисты службы производственного контроля (Руководитель СПК) и специалисты Управления ПК ОТ и ПБ;

IV уровень — начальники управлений, начальники отделов, главные специалисты предприятия, имеющие принадлежность к эксплуатации ОПО;

III уровень – начальники цехов (рудников), специалисты цехов;

II уровень – начальники участков, главные специалисты участка;

I уровень – старший мастер, ст. электромеханик, электромеханик, горный мастер, мастер, сменный мастер, сменный электромеханик.

Служба производственного контроля (СПК) обеспечивает контроль за:

- наличием лицензий на виды деятельности и выполнением условий, действующих в области промышленной безопасности;

- строительством, реконструкции, капитальным ремонтом, опасных производственных объектов;

- устранением причин возникновения аварий, инцидентов и несчастных случаев на производстве;

- соответствием условий эксплуатации технических устройств требованиям промышленной безопасности;

- своевременным проведением соответствующими службами необходимых испытаний и технических освидетельствований технических устройств, применяемых на опасных производственных объектах или объекте, ремонтом и поверкой контрольных средств измерений;

- наличием документов об оценке (о подтверждении) соответствия технических устройств, применяемых на ОПО, обязательным требованиям в соответствии с законодательством Российской Федерации о техническом регулировании;

- выполнением предписаний органов Ростехнадзора;

- организацией наблюдений за безопасным состоянием зданий и сооружений, своевременностью проведения ремонтов и соблюдением технологии при функционировании опасного производственного объекта;

- готовностью к локализации аварий и ликвидации их последствий.

СПК несет ответственность за соблюдение требований Федеральных законов, нормативно-правовых актов и нормативно-технических документов, устанавливающих правила ведения работ на ОПО. Применяет права в объеме своей должностной инструкции.

Порядок планирования и проведения внутренних проверок соблюдения требований промышленной безопасности определен для каждого уровня осуществления производственного контроля в соответствии с разработанным регламентом проверок.

Инструментарием осуществления производственного контроля на предприятии являются: оперативные, комплексные и целевые проверки. Проверки проводят периодически по уровням, по объектам.

Оперативный контроль осуществляют руководители и специалисты V, IV, III, II, I уровней. Обнаруженные в ходе оперативного обследования нарушения (несоответствия) требований промышленной безопасности оформляются в соответствующих документах.

Целевые проверки проводятся руководителями и специалистами V, IV, III уровней. При необходимости для проведения проверки могут привлекаться работники других отделов и служб.

Комплексные обследования проводят руководители и специалисты V, IV, III уровней по годовому (месячному).

Комиссионные проверки проводятся руководителями и специалистами выборочно по объектам проверки. Состав комиссионной проверки определяется, исходя из специфики проверяемого объекта. Результаты комиссионной проверки оформляются Актом проверки.

По результатам проверок издаются приказы, распоряжения. Проводят анализ для планирования дальнейшей работы, используя материал обследований.

Проведенный анализ с изложением обследованных и выставленных оценок в соответствии с методикой оценки состояния промышленной безопасности ОПО должен включать:

- результаты проверки соответствия требованиям промышленной безопасности (количество выявленных нарушений ПБ);
- оценку общего руководства безопасной эксплуатации ОПО;
- выводы по эффективности осуществления производственного контроля в структурном подразделении;
- предложения по обеспечению эффективности производственного контроля в социальной и производственной деятельности.

Ежегодные планы проведения комплексных и целевых проверок состояния промышленной безопасности в структурных подразделениях (ОПО), разрабатывают и осуществляют руководители и специалисты подразделений комбината, отнесенные к III уровню.

Результаты работы по выполненным проверкам ежемесячно анализируются лицом ответственным за осуществление производственного контроля на ОПО для оценки состояния промышленной безопасности и функционирования производственного контроля, а также для планирования дальнейшей работы.

Технический директор по результатам совместного обследования с главными специалистами предприятия и руководителями ОПО выходит с предложениями на генерального директора по вопросам:

- материально – технического снабжения объектов предприятия, направленных на обеспечение промышленной безопасности;
- приобретения и обеспечения необходимыми правовыми и нормативно-техническими документами по вопросам промышленной безопасности;
- поощрения работников, принимающих участие в разработке, осуществлении мер, направленных на повышение промышленной безопасности и привлечении к ответственности лиц виновных в нарушении.

Управление ПК по ПБ и ОТ совместно с цеховыми работниками, комиссией по ОТ и органами государственного надзора проводит сложную и многогранную работу по охране труда. Гигиена и культура труда, рациональное освещение, вентиляционные устройства, электробезопасность, оградительная техника, борьба

с шумом и вибрациями, пожарная безопасность и многие другие факторы по обеспечению нормальных условий труда постоянно должны быть в поле зрения этого отдела.

Основными задачами отдела управления ПК по ПБ и ОТ предприятия являются:

1) подготовка и аттестация специалистов предприятия по вопросам промышленной безопасности;

2) контроль за правильным и своевременным проведением инструктажей на рабочем месте;

3) контроль за качественным и своевременным обучением рабочих, направляемых на участки с повышенной опасностью;

4) организация занятий по повышению уровня знаний рабочих и ИТР в вопросах ОТ;

5) контроль за обеспечением работающих спецодеждой, средствами защиты, молоком, огнетушителями и т.д.

6) повседневный контроль над соблюдением правил и норм ТБ промышленной санитарии в цехах, на территории предприятия, вспомогательных цехах и в подсобных помещениях (складах);

7) составление сводок по травматизму и анализ причин несчастных случаев и заболеваний;

8) разработка номенклатурных мероприятий по охране труда;

9) рассмотрение проектов реконструкции цехов, участков, машин и т.д.

10) контроль за своевременным и правильным расследованием несчастных случаев.

11) проведение специальной оценки условий труда СОУТ - идентификации (распознавания) опасных и вредных производственных факторов, оценке рисков, включая их анализ и управление ими.



## 5.2 Обеспечение готовности к действиям по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах

В целях обеспечения готовности к действиям по локализации и ликвидации последствий аварий на исследуемом ГОКе для каждого ОПО, относящихся к I, II и III классу опасности в установленном порядке разрабатываются, пересматриваются, корректируются «Планы мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий на ОПО».

Разработанные Планы мероприятий предусматривают:

- возможные сценарии возникновения и развития аварий на опасном производственном объекте;

- количество сил и средств, достаточное для локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах (далее именуются - силы и средства), соответствие имеющихся на объекте сил и средств задачам ликвидации, необходимость привлечения профессиональных аварийно-спасательных формирований;

- организацию взаимодействия сил и средств;

- состав и дислокацию сил и средств;

- порядок обеспечения постоянной готовности сил и средств с указанием организаций, которые несут ответственность за их поддержание в установленной степени готовности;

- организацию управления, связи и оповещения при аварии на опасном производственном объекте;

- систему взаимного обмена информацией между организациями - участниками локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах;

- первоочередные действия при получении сигнала об аварии на опасном производственном объекте;

- действия производственного персонала и аварийно-спасательных служб (формирований) по локализации и ликвидации аварийных ситуаций;

- мероприятия, направленные на обеспечение безопасности населения;
- организацию материально-технического, инженерного и финансового обеспечения операций по локализации и ликвидации аварии на опасном производственном объекте.

Разработанные планы мероприятий утверждаются руководителями ГОКа, эксплуатирующих опасные производственные объекты, либо их обособленных структурных подразделений. Планы мероприятий согласовываются руководителями профессиональных аварийно-спасательных формирований служб или профессиональных аварийно-спасательных формирований, с которыми заключен договор на обслуживание ОПО. По согласованию с профессиональными аварийно-спасательными формированиями проводятся совместные противоаварийные тренировки с персоналом ОПО, направленные на практическую отработку действий по локализации и ликвидации аварийных ситуаций.

### 5.3 Подготовка и аттестация специалистов

1) Подготовка и аттестация специалистов предприятия по вопросам промышленной безопасности проводится в объеме, соответствующем должностным обязанностям. Области аттестации руководителей и специалистов определяются руководителем структурного подразделения в соответствии с должностными инструкциями.

2) Аттестации руководителей и специалистов по вопросам промышленной безопасности предшествует их подготовка по учебным программам, разработанным с учетом типовых программ, утвержденным Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору.

3) Аттестация руководителей и специалистов проводится в аттестационных комиссиях в соответствии с действующим Положением.

4) Первичная аттестация руководителей и специалистов проводится не позднее одного месяца:

- при назначении на должность;
- при переводе на другую работу, если при осуществлении должностных обязанностей на этой работе требуется проведение аттестации по другим областям аттестации;
- при переходе из одной организации в другую, если при осуществлении должностных обязанностей на работе в данной организации требуется проведение аттестации по другим областям аттестации.

5) Периодическая аттестация руководителей и специалистов проводится не реже чем один раз в пять лет, если другие сроки не предусмотрены иными нормативными актами.

6) Внеочередной аттестации в Центральной аттестационной комиссии Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору подлежат руководитель и (или) лица, на которых возложена ответственность за безопасное ведение работ на объекте, на котором произошли авария или несчастный случай со смертельным исходом.

Допускается проведение внеочередной аттестации в территориальной аттестационной комиссии Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору по решению председателя Центральной аттестационной комиссии или его заместителя.

#### 5.4 Проверка знаний рабочих

1) Проверка знаний работников предприятия в области промышленной безопасности и охране труда проводится в объеме квалификационных требований, а также в объеме требований производственных инструкций и/или инструкций для данной профессии.

2) Лица, допускаемые к самостоятельной работе, должны знать места расположения средств спасения, сигналы аварийного оповещения, правила поведения при авариях, правила оказания доврачебной помощи пострадавшим.

3) Ответственным за организацию своевременного и качественного обучения и проверки знаний в целом по организации является Генеральный директор, а в подразделениях - руководитель подразделения.

4) Обучение рабочих основных профессий включает:

- подготовку вновь принятых рабочих;
- переподготовку (переобучение) рабочих;
- обучение рабочих вторым (смежным) профессиям;
- повышение квалификации рабочих.

5) Подготовка, вновь принимающегося, персонала основных профессий проводится в учебно-курсовом комбинате, который имеет соответствующую лицензию.

6) Перед допуском к самостоятельной работе рабочие проходят инструктаж по охране труда и стажировку на рабочем месте.

7) По характеру и времени проведения инструктажи по охране труда подразделяют на вводный, первичный, повторный и внеплановый.

8) Вводный инструктаж по охране труда проводят со всеми вновь принимаемыми рабочими, независимо от их стажа работы по данной профессии, временными работниками, командированными, учащимися и студентами, прибывшими на обучение или производственную практику.

9) Первичный инструктаж по безопасности на рабочем месте проводится с рабочими до начала их производственной деятельности. Первичный инструктаж на рабочем месте проводится с каждым индивидуально с практическим показом безопасных приемов работы. Первичный инструктаж по охране труда возможен с группой лиц, обслуживающих однотипное оборудование и в пределах общего рабочего места.

10) Все работники после проведения первичного инструктажа по охране труда проходят стажировку на конкретном рабочем месте под руководством опытных работников, назначенных распоряжением по цеху.

11) Повторный инструктаж по охране труда и профессиональной безопасности на рабочем месте проводится не реже одного раза в полугодие.

12) Внеплановый инструктаж по охране труда проводится:

- при изменении технологического процесса, замене или модернизации оборудования, влияющих на безопасность;
- при нарушении требований безопасности;
- при перерыве в работе более чем на 30 календарных дней;
- по предписанию должностных лиц территориальных органов Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору при выполнении ими должностных обязанностей.

13) Проверка знаний проводится в комиссии предприятия. Состав комиссии определяется приказом по предприятию. Процедура проверки знаний, оформление результатов проверки знаний проводится в порядке, установленном в организации. Работнику, успешно прошедшему проверку знаний, выдается удостоверение на право самостоятельной работы.

Работники периодически проходят проверку знаний производственных инструкций и/или инструкций для конкретных профессий не реже одного раза в 12 месяцев.

14) Перед проверкой знаний организуются занятия, лекции, семинары, консультации, а также применяется метод самоподготовки экзаменуемых.

15) Внеочередная проверка знаний проводится:

- при переходе в другую организацию;
- в случае внесения изменений в производственные инструкции и/или инструкции для конкретных профессий;
- по предписанию должностных лиц территориальных органов Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору при выполнении ими должностных обязанностей в случаях выявления недостаточных знаний инструкций.

16) При перерыве в работе по специальности более 12 месяцев рабочие после проверки знаний перед допуском к самостоятельной работе проходят стажировку для восстановления практических навыков.

17) Допуск к самостоятельной работе оформляется распоряжением по цеху.

### 5.5 Идентификация опасных и вредных производственных факторов

Обеспечение безопасности человека в процессе труда – сложная инженерная и организационная задача, которая, безусловно, зависит от конкретных обстоятельств и условий того или иного производства. Вместе с тем технические основы управления безопасностью условий труда достаточно типичны и состоят в идентификации (распознавании) опасных и вредных производственных факторов, оценке рисков, включая их анализ и управление ими.

Под идентификацией потенциально вредных и (или) опасных производственных факторов принимаются сопоставление и установление совпадения имеющихся на рабочих местах факторов производственной среды и трудового процесса с факторами производственной среды и трудового процесса, предусмотренными классификатором вредных и (или) опасных факторов, утвержденным федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке и реализации государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере труда, с учетом мнения Российской трехсторонней комиссии по регулированию социально-трудовых отношений. Процедура осуществления идентификации потенциально вредных и опасных факторов устанавливается методикой проведения специальной оценки условий труда, предусмотренной частью 3 статьи Федерального закона №426-ФЗ от 28.12.2013 г. «О специальной оценке условий труда».

Специальная оценка условий труда (СОУТ) – это комплекс последовательно выполняемых мероприятий, направленных на идентификацию вредных и опасных факторов рабочей среды и трудового процесса и оценку уровня их воздействия на работника.

Вредным производственным фактором является производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению работоспособности. (Примечание. В зависимости от уровня продолжительности воздействия, вредный производственный фактор может быть опасным).

Опасным производственным фактором является производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме или другому внезапному резкому ухудшению здоровья (ГОСТ 12.0.002-80). Ниже в таблице 12 приведен анализ вредных факторов на рабочих местах в очистных сооружениях на рабочих местах машиниста насосных установок и электрогазосварщика.

Таблица 12 – Вредные производственные факторы на рабочих местах и их ПДУ

Вредный производственный фактор	Предельно допустимый уровень	Фактическое значение
Пыль нетоксичная, мг/м <sup>3</sup>	6,0	0,2
Азота оксид (в пересчете на NO <sub>2</sub> ), мг/м <sup>3</sup>	5,0	4,1
Углерод оксид, мг/м <sup>3</sup>	20,0	6,3
Марганец в сварочных аэрозолях при содержании до 20%, мг/м <sup>3</sup>	0,6/0,2	0,78/0,42
Гидрофторид (в пересчете на фтор), мг/м <sup>3</sup>	0,1	<0,25
Железа триоксид, мг/м <sup>3</sup>	6.0	<3.0
Эквивалентный уровень звука, дБА	80,0	69,0
Освещение,лк	75	160
Микроклимат - температура (теплый период), °С	16 – 27	22,3

Вредный производственный фактор	Предельно допустимый уровень	Фактическое значение
Микроклимат - температура (холодный период), °С	16 – 27	20,8
Микроклимат - относительная влажность, %	15 – 75	62,8
Микроклимат - скорость движения воздуха, м/с	<0,5	0,15
Микроклимат - интенсивность теплового облучения, Вт/м <sup>2</sup>	140,0	112,0

5.6 Защита работников от опасных и вредных производственных факторов на рабочих местах

5.6.1 Организационные мероприятия для защиты от вредных и опасных производственных факторов на работников на предприятии

Организационные мероприятия на предприятии:

- обучение безопасным методам выполнения работ и оказанию первой помощи пострадавшим на производстве, проведение инструктажей по охране труда, стажировка на рабочем месте и проверки знания требования охраны труда;
- недопущение к работе лиц, не прошедших в установленном порядке обучение и инструктаж по ОТ, стажировку и проверку знаний требований ОТ;
- организация контроля за состоянием условий труда на рабочих местах, а также правильностью применения СИЗ и СКЗ;
- проведение СОУТ рабочих мест 1 раз в пять лет с последующей сертификацией организации работ по ОТ;



- организация и проведение за счет собственных средств предприятия обязательных предварительных (при поступлении на работу) и периодических (в течение трудовой деятельности) медицинских осмотров и медицинских обследований;
- недопущение работников к выполнению работ без прохождения перед сменной медицинское освидетельствования;
- информирование работников об условиях и ОТ на рабочих местах, о риске повреждения здоровья и полагающихся им компенсациях и СИЗ;
- принятие мер по предотвращению аварийных ситуаций, сохранению жизни и здоровья работников при возникновении таких ситуаций, в том числе по оказанию пострадавшим первой помощи;
- расследование и учет в установленном порядке несчастных случаев на производстве и профзаболеваний;
- санитарно-бытовое и лечебно-профилактическое обслуживание работников в соответствии с требованиями ОТ, а также доставку работников, заболевших на рабочем месте, в медицинскую организацию в случае необходимости оказания первой доврачебной помощи;
- профилактическая вакцинация работников от сезонных заболеваний;
- обязательное социальное страхование работников от НС на производстве и профессиональных заболеваний;
- бесплатное лечение по медицинским показаниям в санатории-профилактории предприятия;
- создание социальных программ для медицинских исследований работников в крупных медицинских центрах;
- ознакомление работников с требованиями ОТ;
- разработка и утверждение правил и инструкций по ОТ для работников.

## 5.6.2 Средства промышленной санитарии для защиты работников от производственных факторов

Основная задача производственной санитарии - предупреждение неблагоприятного воздействия на работающих вредных производственных факторов с целью обеспечения безопасных условий труда, устранения причин профессиональной и производственно-обусловленной заболеваемости, а также преждевременной утомляемости.

На предприятии к вредным факторам, прежде всего, относятся факторы, влияющие на функционирование органов дыхания, системы кровообращения, нервной системы, органов зрения и слуха.

Поэтому производственная санитария на предприятии в первую очередь направлена на:

- создание нормативных метеорологических условий в рабочей зоне;
- обеспечение предусмотренной санитарно-гигиеническими нормами чистоты воздуха в производственных помещениях и на промышленных площадках;
- соблюдение освещенности на рабочих местах, соответствующей выполняемым зрительным работам; обеспечение на рабочих местах нормативных уровней шума и вибраций; предупреждение инфракрасных и других излучений.

На предприятии разработан график периодического замера вредных производственных факторов (производственный шум, общая вибрация, освещение, микроклимат) на рабочих местах, которые проводит санитарная группа центральной химической лаборатории предприятия 1 раз в год, исключением является замеры микроклимата. Данный фактор измеряют 2 раза в год: в теплое и холодное время года.

### 5.6.3 Средства индивидуальной защиты работников

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) предназначены в тех случаях, когда безопасность работающего не может обеспечена средствами коллективной (техническими средствами) защитой согласно ГОСТ 12.4.011-89 «Средства работающих. Общие требования и классификация».

От производственного шума используют беруши и наушники. Для защиты органов дыхания от химических веществ, содержащихся в воздухе вредных химических веществ и взвесей, применяют респираторы и противогазы. Для защиты кожных покровов применяют перчатки резиновые и хлопчатобумажные прорезиненные, резиновый фартук и т.п. От попадания реагентов и реактивов в глаза используют очки. Для защиты головы от удара используется каска. От падения с высоты применяют страховочные пояса.

Также на работах с вредными условиями труда и на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением, работникам выдается бесплатно выдаются сертифицированные специальная одежда и специальная обувь, нательное теплое термобелье, шапки (в зимнее время), рукавицы х/б и утепленные, утепленные куртки, зимнюю обувь: ботинки на меху и валенки, резиновые сапоги и водонепромокаемые прорезиненные костюмы и др.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вопрос охраны труда и охраны окружающей среды является в настоящее время одним из важнейших на современном этапе жизни нашего общества. Развитие экономики, ввод в эксплуатацию новых промышленных производств, разработка месторождений и т.п. приводит в итоге к вредному воздействию на атмосферу, гидросферу и литосферу Земли.

В ходе выпускной квалификационной работы мы оценили эффективность уже существующих ОСПСВ исследуемого ГОКа. По некоторым загрязняющим веществам (сульфаты, нитраты и тяжелые металлы) зафиксировали превышения нормативов для сброса сточных вод в водоемы рыбохозяйственного назначения.

Был предложен цикл доочистки, который позволит снизить концентрацию загрязняющих веществ во много раз ниже рассчитанных нормативов ПДС. Помимо этого, важным преимуществом является эффективное удаление трудно выводимых сульфатов.

Нужно отметить, что в технологии используется известь, добытая в карьере, которая поступает с обогатительной фабрики ГОКа. Реагенты, которые используются помимо извести повторно возвращаются в цикл, что является важным с экономической точки зрения. Также предложенная схема цикла доочистки будет занимать небольшую площадь, что является экономически целесообразным в условиях дефицита свободных площадей на пром-площадке предприятия.

Данная технология активно используется на ОСПСВ многих ГОКов в Европе и США. В России на данный момент она не зарегистрирована. Проанализировали работу ОСПСВ отечественных ГОК. Заметили, что большинству из них выгоднее выплачивать огромный штраф, нанося колоссальный вред окружающей среде. Был рассчитан срок окупаемости предложенного цикла, он составил 2 года и 9 месяцев. Данный показатель является привлекательным с точки зрения

рентабельности внедрения и позволит улучшить экологическую ситуацию в целом.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Авдохин, В.М. Основы обогащения полезных ископаемых: учебник для вузов / В.М. Авдохин. - М.: Горная книга, 2008. – 328 с.

2 Аксенов, В. И. Водное хозяйство промышленных предприятий: справ. пособие. / В. И. Аксенов. М.: Теплотехник, 2007. – 240 с.

3 Аксенов, В. И. Проблемы водного хозяйства металлургических, машиностроительных, металлообрабатывающих предприятий / В. И. Аксенов, В.Ф. Балакирев, А.А. Филипенко. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 264 с.

4 Баглай, Е. Б. Опыт промышленного сравнения методов очистки сточных вод от сульфат-ионов / Е. Б. Баглай, С. В. Баглай, Э.А. Риянова // Чистая вода России: материалы XI Международного науч.-практического симп. и выст. Екатеринбург, 2011. – С. 367–369.

5 Долина, Л. Ф. Сточные воды предприятий горной промышленности и методы их очистки: справ. пособие. / Л. Ф. Долина. – Днепропетровск: Молодежная экологическая лига приднепровья, 2000. – 43с.

6 Когановский, А.М. Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении / А.М. Когановский, Н.А. Клименко – М.: Химия, 1983. – С.12-18.

7 Лин, М.М. Очистка сточных вод от тяжелых металлов методом ионного обмена / М. М. Лин, В. О Шитова, Г. Г. Каграманов // Успехи в химии и химической технологии. 2016. – Т.30. – №2 (171). – С. 109-110.

8 Лебедева, К.Б. Очистка и контроль сточных вод предприятий цветной металлургии / К.Б. Лебедева – М.: Металлургия, 1983. – С.6-30.

9 Милованов, Л.В. Методы химической очистки сточных вод горнорудных предприятий цветной металлургии / Л.В. Милованов, Б.П. Краснов – М.: Недра, 1967. – С.60-63.

10 Садыкова, И.А. Санитарные условия для рыбохозяйственных водоемов / И.А. Садыкова // Студенческий научный форум 2016. – <https://www.scienceforum.ru-/2016/1845/19570>.

11 Смирнов, Д.Н. Очистка сточных вод в процессах обработки металлов / Д.Н. Смирнов, В.Е. Геннин – М.:Металлургия,1989. – С.20-27.

12 Стриженок, А. В. Экологическая оценка экосистем, подвергшихся воздействию горной промышленности / А. В. Стриженок // Записки Горного Института, 2012. – №195. – С. 171-173.

13 Шурпо, А. П. Проблемы обращения с отходами горнорудных предприятий в Российской Федерации и зарубежный опыт// Internationalscientificreview, 2015. – № 2. – <http://scienceproblems.ru/problemu-obrashchenija.html>.

14 Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: утв. Приказом Федерального агентства по рыболовству от 18 января 2010 г. № 20. – <http://meganorm.ru/Data2/1/4293823/4293823943.pdf>.

15 ФЗ «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 г. №7 – ФЗ. – [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34823/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/).

16 ФЗ «О промышленной безопасности ОПО» от 21.07.1997 г. №116 – ФЗ. – <http://asf-proekt.ru/fz-116/>.

17 Расчет расхода электроэнергии в цехе и её стоимости. – <http://www.econfind.ru/ecfabs-182-1.html>.

18 Выбор насосного оборудования. – <https://sgm-t.ru/il-40/160-055/4/>.

19 Нейтрализация путем добавления реагентов. – <http://vseokraskah.net/ochistkastochnyh-vod/nejtralizaciya-putem-dobavleniya-reagentov.html>.

20 Усреднители для регулирования состава или расхода сточных вод. – [http://zinref.ru/000\\_uchebniki/03700\\_ochistka\\_vodi/002\\_Metody\\_ochistki\\_prirodnikh\\_i\\_stochnykh\\_vod/005.htm](http://zinref.ru/000_uchebniki/03700_ochistka_vodi/002_Metody_ochistki_prirodnikh_i_stochnykh_vod/005.htm).

21 Очистка воды при помощи флокулянтов. – <http://oskada.ru/obrabotka-i-ochistka-vody/ochistka-vody-pri-pomoshhi-flokulyantov.html>.

22 Отстойники для очистки сточных вод. – <https://musorish.ru/otstoynik-dlya-vody/>.

23 Вакуум-фильтр: принцип работы. – [https://nomitech.ru/articles-and-blog/ustroystvo\\_i\\_printsip\\_raboty\\_vakuum\\_filtrov/](https://nomitech.ru/articles-and-blog/ustroystvo_i_printsip_raboty_vakuum_filtrov/).

24 Тематическое исследование моделирование процесса обработки. – эттрингита: <http://www.scielo.org.za/pdf/wsa/v44n1/10.pdf>.

25 Acheampong<sup>1</sup>, M. A. Low-Cost Technologies for Mining Wastewater Treatment / M. A. Acheampong<sup>1</sup>, E. D. Okwaning Ansa // J. of Environmental Science and Engineering. – 2017.–P. 391-405.

26 Hagare, B. D. Wastewater characteristics, management and reuse in mining & mineral processing industries. /Hagare B. D.// Wastewater recycle, reuse, and reclamation. – 2019.– Vol. № 1.

27 Chandler, D. MIT engineers develop a new way to remove carbon dioxide from air. – <https://news.mit.edu/2019/mit-engineers-develop-new-way-remove-carbon-dioxide-air-1025>.