

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт  
институт

Тепловые электрические станции  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Е.А. Бойко  
подпись инициалы, фамилия

« \_\_\_\_\_ » 2021г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника

код – наименование направления

Проект реконструкции системы очистки оборотной воды топливоподдачи  
Березовской ГРЭС

тема

Руководитель

\_\_\_\_\_  
должность, ученая степень

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Т.М. Руденко  
инициалы, фамилия

Выпускник

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Е.М. Стяжкова  
инициалы, фамилия

Тех. контроль

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Е.А. Бойко  
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

П.В. Шишмарев  
инициалы, фамилия

Красноярск 2021

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт  
институт

---

Тепловые электрические станции  
кафедра

---

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Е.А. Бойко  
подпись                      инициалы, фамилия

« \_\_\_\_\_ » 2021г.

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**  
**в форме бакалаврской работы**

Студенту Стяжковой Екатерине Максимовне  
фамилия, имя, отчество

Группы ФЭ17 – 02Б Направление (специальность) 13.03.01  
номер группы код

Теплоэнергетика и теплотехника

наименование

Тема выпускной квалификационной работы Проект реконструкции системы  
очистки оборотной воды топливоподачи Березовской ГРЭС

Утверждена приказом по университету № 19492/с от 30 декабря 2020 г

Руководитель ВКР Т.М. Руденко, канд. техн. наук, доцент кафедры ТЭС  
инициалы, фамилия, должность, учёная степень и место работы

Исходные данные для ВКР Берёзовская ГРЭС

район размещения – Красноярский край, г. Шарыпово

топливо – Березовский уголь Канско-Ачинского бассейна

Перечень разделов ВКР Общее описание станции «Березовская ГРЭС»,  
расчет схемы очистки оборотной воды топливоподачи, выбор основного  
оборудования схемы очистки оборотной воды топливоподачи, экономика.

Перечень графического материала

Лист 1. Общая схема насосных станций и движения оборотной воды ТТЦ до  
реконструкции

Лист 2. Общая схема насосных станций и движения оборотной воды ТТЦ  
после реконструкции

Лист 3. Принципиальная схема водоподготовки с осветлителем со  
взвешенным слоем осадка

Лист 4. Принципиальная схема водоподготовки с мембранными модулями

Лист 5. Схема осветлителя со взвешенным слоем осадка

Руководитель ВКР

подпись

Т.М. Руденко

инициалы и фамилия

Задание принял к  
исполнению

подпись

Е.М. Стяжкова

инициалы и фамилия

« 7 » июня 2021г.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа на тему «Проект реконструкции системы очистки оборотной воды топливоподачи Березовской ГРЭС» содержит 57 страниц текстового документа, 15 использованных источника, 5 листов графической части, 14 рисунков, 21 таблицу.

ОБОРОТНАЯ ВОДА, СХЕМА ОЧИСТКИ, КОАГУЛЯНТ, ФЛОКУЛЯНТ, ОТСТАИВАНИЕ, МЕМБРАНА, ВЗВЕШЕННЫЕ ВЕЩЕСТВА, ТОПЛИВОПОДАЧА, КОНЦЕНТРАЦИЯ, ОСВЕТЛИТЕЛЬ.

Актуальность выпускной квалификационной работы обусловлена высоким содержанием взвешенных частиц в оборотной воде топливоподачи станции, которое негативно сказывается на работе цеха.

В цехе топливоподачи вода из оборотной системы используется для выполнения гидроуборки, снабжения водой аспирационных установок и системы гидрообеспыливания.

Чтобы исключить негативное воздействие пыли на здоровье персонала, улучшить технологические процессы, повысить уровень пожарной и взрывобезопасности, на объекте должна работать аспирационная система. Она обеспечивает очистку воздуха от пыли и приводит его качественные показатели в соответствие с нормативными требованиями.

Эффективность работы аспирационных установок зависит от качества оборотной воды, направленной на пылеулавливание, которая не соответствует нормам, а также не проходит по критерию взрывопожаробезопасности, так как происходит оседание пыли на оборудование. Поэтому содержание пыли в рабочей зоне помещений топливоподачи превышает ПДК в 10 раз и более.

Источником возникновения взрыва могут являться отложения пыли на элементах строительных конструкций, технологическом оборудовании, кабелях и приборах отопления. Особую опасность представляет взрывление и взвихривание тлеющих отложений пыли. Концентрация мелкодисперсных отложений в помещениях топливоподачи по санитарным нормам составляет до  $10 \text{ мг/м}^3$ . Взрывоопасной в условиях топливоподачи является пыль топлива с выходом летучих веществ на горючую массу 20% и выше. При появлении интенсивного источника возмущения пылевые отложения, взвихриваясь, могут создать пылевоздушную смесь опасной концентрации.

В связи с требуемыми нормами ПДК встала острая необходимость в очистке оборотной воды топливоподачи.

Для решения поставленной задачи мною был выполнен технико-экономический анализ двух вариантов: схема с осветлителем со взвешенным слоем осадка и схема с использованием мембранных модулей.

По итогу технико-экономического расчета в качестве схемы для реконструкции выбирается схема очистки оборотной воды топливоподачи с использованием осветлителя со взвешенным слоем осадка.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1 Общее описание станции «Березовская ГРЭС».....	5
1.2 Описание системы оборотного водоснабжения топливоподачи .....	9
1.3 Анализ водно-химического режима оборотной воды топливоподачи.....	10
1.4 Описание методов очистки оборотного водоснабжения .....	12
1.5 Предложение эффективной установки очистки оборотного водоснабжения.....	17
1.5.1 Схема очистки оборотного водоснабжения с применением осветлителя со взвешенным слоем осадка .....	17
1.5.2 Установка очистки воды «Влага» .....	18
1.5.3 Мембранные модули 3М™ Liqui-Flux™ для ультрафильтрации...	21
1.5.4 Использование действующей установки очистки воды .....	27
1.1.5 Использование станций дозирования реагентов для очистки воды	29
2 Расчет схемы очистки оборотной воды топливоподачи .....	33
2.1 Схема очистки с осветлителем со взвешенным слоем осадка .....	33
2.2 Схема очистки с мембранными модулями 3М™ Liqui-Flux™ для ультрафильтрации .....	35
3 Выбор основного оборудования схемы очистки оборотной воды топливоподачи .....	37
3.1 Схема очистки с осветлителем со взвешенным слоем осадка .....	37
3.2 Схема очистки с мембранными модулями 3М™ Liqui-Flux™ для ультрафильтрации .....	42
4 Экономика.....	47
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	55
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	56

## ВВЕДЕНИЕ

Российский топливно-энергетический комплекс по объемам выработки и экспорта электроэнергии занимает четвертое место в мире. На сегодняшний день энергетика – это ведущая отрасль. Количество занятого в ней персонала превышает 2 млн. человек. Вклад в экономику страны превышает 3% ВВП.

Ежегодно потребность людей в использовании воды для хозяйственной и производственной деятельности возрастает. Потребление воды на станции, играет важную роль в работе всего оборудования. Именно поэтому системы очистки технической, оборотной и сточных вод реконструируются, внедряя самые новые технологии, тем самым обеспечивая высокую эффективность работы станции.

Устойчивое функционирование и развитие энергетики необходимо для обеспечения безопасности различных отраслей – экономической, финансовой, внешнеэкономической, технологической, социальной.

Оборотное водоснабжение промышленных предприятий – это наиболее экономичный способ водообеспечения производства. Данный метод позволяет многократно использовать одну и ту же воду в технологических и производственных процессах – использованная и загрязненная вода после проведения нескольких операций очистки, снова становится пригодной для применения в промышленных целях.

Оборотное водоснабжение имеет ряд преимуществ, такие как снижение вредных выбросов, снижение фактического потребления воды и ее подготовки, продление срока эксплуатации оборудования, сокращение потерь. Но есть и существенный минус – это организация системы очистки воды для возможности ее дальнейшего использования в схеме оборотного водоснабжения.

Установка системы очистки воды для оборотного водоснабжения на станции – достаточно сложный для реализации в технологическом плане процесс, так как для каждого производства приходится подбирать и проектировать системы для очищения и обеззараживания оборотной воды.

Необходимо учитывать несколько факторов: требуемая производительность системы, качество загрязненной и очищенной воды. Именно поэтому очень часто применяется двухступенчатая схема очистки воды для оборотного водоснабжения, при которой отдельные участки и цеха, имеющие приблизительно стабильные по составу сточные воды, получают собственные локальные водоочистные сооружения и системы.

Критериями оптимальности при выборе установки очистки оборотной воды являются показатели взрывопожаробезопасности, нормы качества воды для определенного оборудования, нормы качества воды в целом, габариты установки и т.д.

Качество воды, используемой в системе оборотного водоснабжения, характеризуется высоким содержанием взвешенных частиц, фактическое значение которых составляет 5818 мг/дм<sup>3</sup>.

## **1 Общее описание станции «Березовская ГРЭС»**

Берёзовская ГРЭС - филиал ПАО «Юнипро», расположенный в Шарыповском районе Красноярского края. На станции работает более тысячи человек. Состоит из трех энергоблоков по 800 МВт, первый из которых введен в эксплуатацию с 1987 года. Таким образом, установленная мощность станции 2400 МВт.

Станция работает на бурых углях Березовского месторождения и является самой мощной электростанцией Красноярского края. По итогам 2020 года выработка электроэнергии составила 4,3 млрд кВт ч, отпуск тепла – 592 тыс. Гкал.

Березовская ГРЭС имеет уникальную схему поставки топлива. Основной объем угля поступает на электростанцию непосредственно с Березовского месторождения Канско-Ачинского бассейна двумя 14-километровыми открытыми конвейерами. Производительность конвейера 4400 т/час. Современные системы АСУТП позволяют персоналу осуществлять контроль за подачей угля, гидрообеспыливанием, аспирацией, а также обратным водоснабжением.

У станции самая высокая дымовая труба в России и пятая по высоте в мире. Высота дымовой трубы составляет 370 метров.

Энергоблок Березовской ГРЭС состоит из парового пылеугольного котла типа П-67 производительностью 2650 т/час, паровой конденсационной турбины типа К-800-240-5 мощностью 800 МВт, турбогенератор с водородно-водяным охлаждением типа ТВВ-800-2 мощностью 800 МВт.

### **Паровой котел П-67**

Прямоточный котел Пп-2650-255 (П-67) работает в блоке 800 МВт с одновальной турбиной К-800-240, рассчитан для сжигания бурых углей. Изготавливается на Подольском машиностроительном заводе имени Орджоникидзе.

Котельный агрегат выполнен Т-образной компоновкой газоходов, состоит из топочной камеры, двух горизонтальных газоходов и двух конвективных шахт. Топка оснащена 32 горелками, расположенными тангенциально в 4 яруса. Для растопки котла используются пароакустические мазутные форсунки, расположенные на первом, третьем и четвертом ярусах, производительность которых 4,5 т/ч, при давлении 40 кг/см<sup>2</sup>. Температура ядра факела 1250-1300 °С. Такая температура обеспечивается

рассредоточением горелок по высоте котла, газовой сушке топлива и подачей рециркулирующих газов с температурой 360 °С .

В горизонтальных газоходах последовательно по ходу газов расположены ширмы 2 и 3 ступеней пароперегревателя первичного тракта, далее ширмы 1 ступени и ширмы вторичного пароперегревателя, подвесные трубы верхней радиационной части и экранов конвективной шахты.

В конвективной шахте расположены в 2 яруса пакеты первичного конвективного пароперегревателя и 3 яруса вторичного конвективного пароперегревателя, далее 2 яруса пакетов мембранного водяного экономайзера.

Очистка от золовых отложений осуществляется:

- В топке: маловыдвижными обдувочными аппаратами водяной очистки, глубоковыдвижными обдувочными аппаратами водяной очистки и дальнобойными водяными аппаратами.
- В ширмах: глубоковыдвижными обдувочными аппаратами ОГ-12, РК-SL
- В конвективной шахте: обдувочными аппаратами ОКШ, Smart-Helix, РК-SB

Снижение температуры уходящих газов со 160-170 °С до 140 °С для поддержания высокого КПД электрофильтров обеспечивается установкой системы избыточного воздуха с собственными вентиляторами и воздушноводяными теплообменниками, которые отдают тепло газов в теплофикационную сеть блока. Также эта система поддерживает температуру на входе в ТВП 40 °С.

Тягодутьевая установка котла состоит из 2-х дутьевых вентиляторов ВДН-36х2, 3-х осевых дымососов ДОД-43-500, 4-х вентиляторов рециркуляции горячего воздуха ГД-31 и 2-х дымососов рециркуляции газов ДРГ-29х2.

Котлоагрегат П-67 оборудован 8-ю пылесистемами, каждая из которых состоит из бункера сырого угля, ленточного питателя сырого угля, мельницы-вентилятора с сепаратором, делителем пыли и горелочным блоком - 4 прямоточно-щелевые горелки, расположенные друг над другом.

Каркас здания и каркас котла совмещены, поверхности нагрева подвешены к каркасу, за исключением ТВП. Он расположен в отдельном помещении главного корпуса.



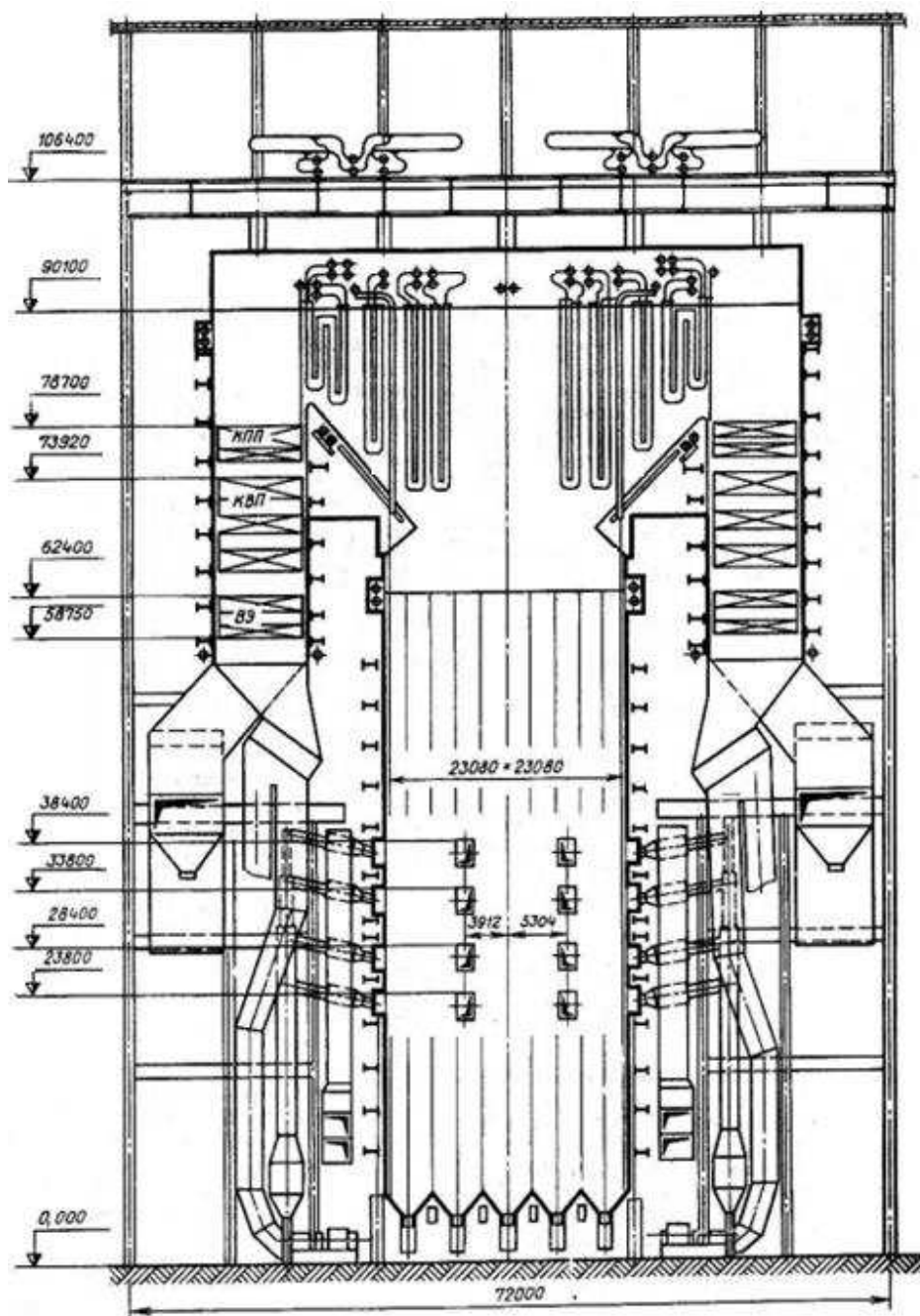


Рисунок 1 – Поперечный разрез котельного агрегата Пп-2650-255 (П-67)

### Паровая конденсационная турбина К-800-240-5

Паровая конденсационная турбина типа К-800-240-5 АО «ЛМЗ» номинальной мощностью 800 МВт предназначена для привода генератора переменного тока ТВВ-800-2 ЕУЗ с частотой вращения  $50\text{с}^{-1}$  и работает в блоке с прямоточным котлом Пп-2650-255 (П-67).

Турбина одновальная и одноцилиндровая состоит из одного однопоточного двухкорпусного ЦВД, одного двухкорпусного двухпоточного ЦСД и трех двухпоточных ЦНД. Пар сбрасывается в два одноходовых двухсекционных конденсатора, в котором трубки расположены продольно.

Предусмотрено 8 регулируемых отбора на регенеративные подогреватели и турбоприводы питательных насосов.

Привод насосов осуществляется конденсационной турбиной типа ОК-18-ПУ-800.

К регенеративной установке относятся четыре ступени ПНД, деаэратор, три группы ПВД.

ПНД № 1 и № 2 (ПНСВ-2000) выполнены смешивающего типа по схеме с перекачивающими насосами – конденсатными насосами второго (КСВ-1000-95) и третьего (КСВ-1500-140) подъемов.

ПНД № 3 и № 4 (ПН-1900-32-7 НЖ) – поверхностного типа, камерные, вертикальной конструкции со встроенными охладителями пара и конденсата.

ПВД № 6, 7, 8 (ПВ-1600-380-77, ПВ-2000-380-40, ПВ-1600-380-66) коллекторного типа, вертикальной конструкции, имеют встроенные охладители пара и конденсата. Слив конденсата греющего пара из подогревателей – каскадный.

Отвод питательной воды из деаэратора (ДП-2800) и подача ее через ПВД в котел осуществляется двумя параллельно работающими насосными группами, каждая из которых включает бустерный (ПД-1600-180) и главный насос (ПН-1500-350).

Предусмотрены отборы пара на собственные нужды станции, энергоблока и для покрытия теплофикационной нагрузки.

#### Котлотурбинный цех

Задачей КТЦ является безаварийная и экономическая эксплуатация энергоблоков, пуско-отопительной котельной, выполнение диспетчерского графика нагрузок, обеспечение номинальных параметров, контроль работы и состояния оборудования, ведение их режимов в соответствии с требованиями режимных карт и инструкций, анализ эксплуатации для улучшения работы оборудования.

#### Химический цех

Основной задачей работы химического цеха является водоподготовка, ведение и контроль водно-химического режима энергоблоков и теплосетей. Это достигается за счет комплекса организационно-технических мероприятий, включающих: соответствующую обработку воды для нужд энергетического оборудования станции, выполнения ряда профилактических противокоррозионных мероприятий (эксплуатационные химические очистки, консервация оборудования на период простоев или в неотопительный период, и др.), поддержание надлежащего водно-химического режима, химический контроль качества воды, топлива, масла, других технических жидкостей и рабочих сред.

Подготовка добавочной воды для подпитки пароводяного цикла энергоблоков с котлоагрегатами П-67 и турбоагрегатами К-800-240-5.

Обработка воды производится по следующей схеме:

- известкование с коагуляцией в осветлителе;
- фильтрация на механических фильтрах;
- двухступенчатое обессоливание с блочным включением фильтров;
- полное обессоливание на фильтрах смешанного действия.

Топливо-транспортный цех

Топливоподача предназначена для обеспечения бесперебойного приема, складирования, хранения, подготовки и подачи угля в бункеры сырого угля энергоблоков. Представляет собой комплекс последовательно объединенных конвейеров и механизмов в зданиях и сооружениях со складом угля.

Суммарная протяженность ленточных конвейеров топливоподачи составляет 2918 м. Производительность тракта топливоподачи 2250 т/час, ширина транспортной ленты 2 м., скорость движения 2 м/с.

Топливо-транспортный цех обеспечивает:

- прием топлива, поступающего с разреза и подачу его на склад или в БСУ котлоагрегатов;
- подготовку (дробление) угля перед подачей его в БСУ;
- взвешивание подаваемого по тракту топлива;
- очистку топлива от посторонних предметов (металла, деревянной щепы и др.).

Помимо этих цехов, на станции есть:

- Цех централизованного ремонта (ЦЦР)
- Цех автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУТП)
- Электроцех (ЭЦ)
- Цех по эксплуатации гидросооружений и тепловых сетей (ЦГТС)
- Отдел технической диагностики (ОТД)

## **1.2 Описание системы оборотного водоснабжения топливоподачи**

Оборотная система водоснабжения предназначена для обеспечения потребностей ТТЦ филиала «Березовская ГРЭС» в технической воде (выполнение гидроуборки, снабжение водой аспирационных установок и системы гидрообеспыливания). Система оборотного водоснабжения представляет собой замкнутый цикл водоснабжения, включает в себя следующее оборудование:

- Насосные станции, центральную насосную станцию, насосную дождевых стоков, насосную осветленной воды;

- Шлаковая секция (отвал твердо-взвешенной смеси);
- Система трубопроводов технического водоснабжения В-10 и шламовых вод К6н;
- Наружный трубопровод К6н, для откачки шламовых вод из центральной насосной станции в шлаковую секцию;
- Наружный трубопровод В-10, для подачи осветленной воды с насосной осветленной воды в систему гидроуборки тракта топливоподачи;
- Подземный трубопровод К2н для откачки шламовых вод из насосной дождевых стоков в шлаковую секцию.

При производстве гидроуборки оборудования тракта топливоподачи, после аспирационных установок шламовая вода по сточным каналам и трубопроводам К-6 поступает в приемные емкости насосных станций 2НО, 4НО, 5НО, 6НО, 8НО, 9НО. По мере накопления шламовая вода из них перекачивается в ЦНО, далее из ЦНО по наружному трубопроводу системы К6н, перекачивается в чашу шлаковой секции ОТВС, емкостью 50000 м<sup>3</sup> или в ОТВС-2, емкостью 100000 м<sup>3</sup>, где происходит отстаивание загрязненной воды. С БП-1 и БП-2 шламовая вода поступает в бак гидроуборки котельного отделения, откуда насосами перекачивается в шлаковую секцию ОТВС или ОТВС-2.

Сточные воды промливневой канализации (К2) с территории угольного склада поступают в приемную емкость насосной дождевых стоков (НДС), расположенной на территории ТТЦ между УП-1 и БУТП в отдельно стоящем сооружении. По мере накопления шламовая вода из НДС перекачивается по подземному трубопроводу К2н в шлаковую секцию ОТВС ТТЦ.

### **1.3 Анализ водно-химического режима оборотной воды топливоподачи**

Сбором и очисткой сточных вод после центрального насоса занимается цех топливоподачи. Производительность оборотной воды составляет 3000-3300 м<sup>3</sup>/сут.

Основные этапы, которые необходимо производить для очистки оборотной воды топливоподачи:

- Поддержание рН в пределах 7,0-8,5;
- Содержание взвешенных веществ не более 200 мг/л.

Требование к оборотной воде для аспирационной установки, с учетом наличия фильтра в самой установке, который доочищает воду во избежание засорения форсунки, сопел, водопроводной арматуры и контрольно-измерительных приборов, по норме взвешенных частиц составляет не более 500 мг/дм<sup>3</sup>.

На сегодняшний день оборотная вода топливоподачи содержит 5818 мг/дм<sup>3</sup> взвешенных веществ, что требует глубокой очистки для поддержания нормативных требований.

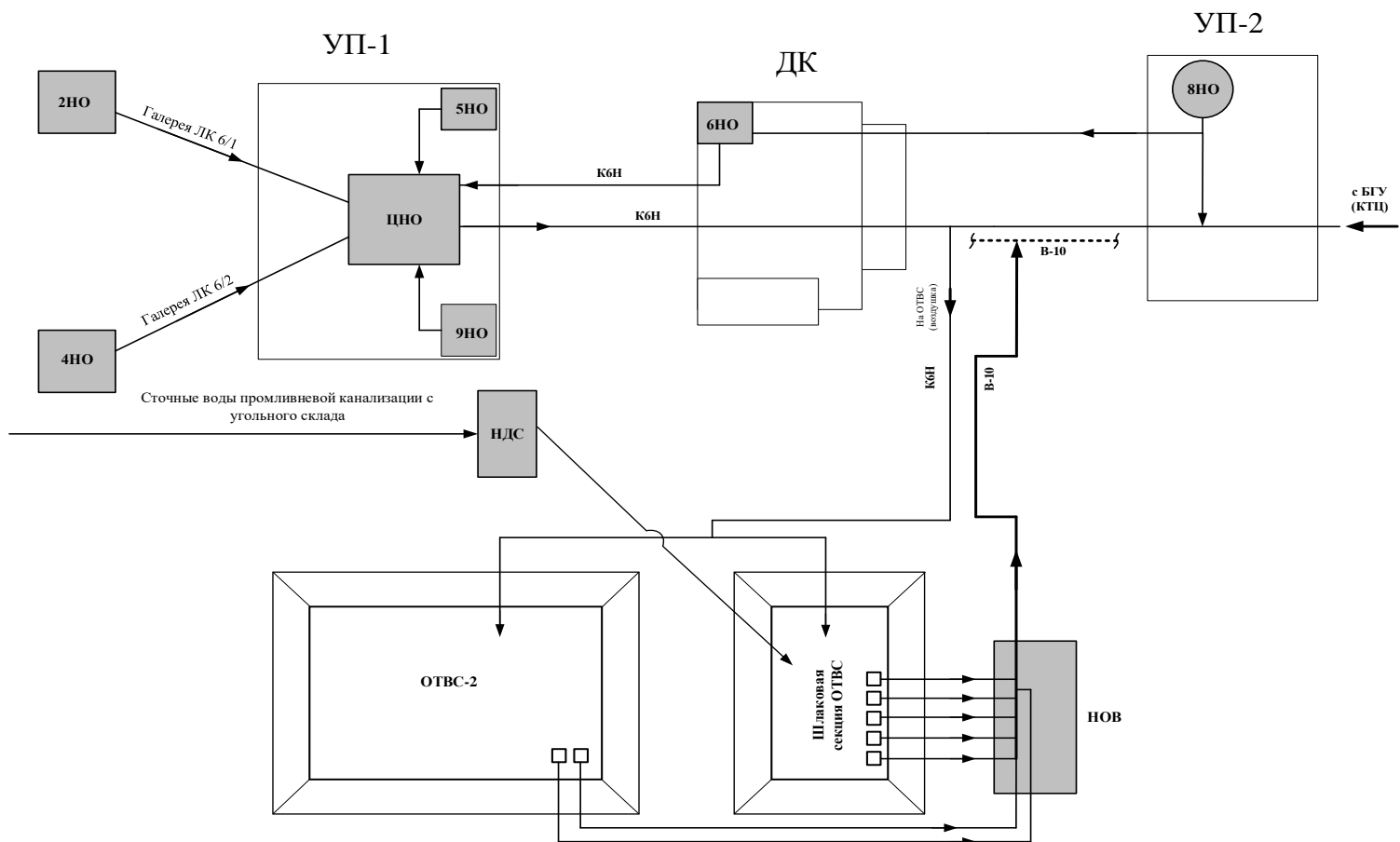


Рисунок2 -Общая схема насосных станций и движения оборотной воды ТТЦ

## 1.4 Описание методов очистки оборотного водоснабжения

Взвешенные примеси, содержащиеся в сточных водах, подразделяются на твердые и жидкие, и образуют с водой дисперсную систему. В зависимости от размера частиц дисперсные системы делят на три группы:

- грубодисперсные системы с размером частиц более 0,1 мкм (суспензии и эмульсии);
- коллоидные системы с размером частиц до 0,1 мкм;
- истинно-растворенные системы, содержащие частицы, размеры которых соответствуют размерам отдельных молекул или ионов.

Для удаления взвешенных частиц из воды используют гидромеханические процессы (периодические или непрерывные) процеживания, отстаивания (гравитационное и центробежное), фильтрование и другие технологии. Выбор метода зависит от размера частиц, их физико-химических свойств и концентрации, расхода оборотной воды и необходимой степени очистки.

В качестве очистки оборотного водоснабжения топливоподачи можно применять традиционные методы, такие как:

- Отстаивание;
- Реагентный метод;
- Механическая фильтрация;
- Мембранная технология;

### Отстаивание

Отстаивание применяется для осаждения из сточных вод грубодисперсных примесей. Осаждение происходит под действием силы тяжести. Для проведения процесса используют песколовки, отстойники и осветлители.

Отстойники используют для выделения из сточных вод твердых частиц размером менее 0,25 мм. По направлению движения сточной воды в отстойнике они делятся на горизонтальные, вертикальные, радиальные и комбинированные.

Отстаивание не всегда удовлетворяет качеству очистки. Зачастую возникает пропуск взвешенных частиц, что не удовлетворяет требуемым критериям очистки. Происходит забивание фильтров, или же осаждение этих частиц на поверхности. Данный метод наименее энергоемкий, наиболее доступный и распространенный.

### Реагентный метод очистки

Реагентный метод очистки – наиболее распространенный метод. В качестве реагентов чаще всего используются коагулянты и флокулянты, которые облегчают удаление взвешенных частиц и коллоидов путем их концентрирования в хлопья с дальнейшим удалением в системах отстаивания, флотации или фильтрации.

В основе действия коагулянтов лежит способность воздействовать на устойчивость дисперсных систем через изменение баланса сил притяжения и отталкивания между частицами. Обработка коагулянтами водных дисперсных систем нашла широкое распространение в практике очистки сточных вод.

В качестве коагулянтов используются соли, образованные многозарядными катионами слабых оснований и анионами сильных кислот. В воде указанные соли подвергаются гидролизу с образованием комплексных ионов. Наибольшее распространение получили сульфаты и хлориды алюминия и железа. Образовавшиеся в процессе гидролиза коллоидные соли гидроксидов алюминия и железа коагулируют с образованием агрегатов. После чего вместе с частицами сточных вод осаждаются и, таким образом, очищают ее.

Гидролиз коагулянтов является одним из наиболее важных процессов коагуляции. Полнота его протекания влияет как на качество разделения, так и на расход коагулянта. Решающим фактором, который обеспечивает максимальную эффективность использования коагулянтов при очистке воды, является создание условий для проведения гидролиза в необходимом направлении путем изменения концентрации коагулянта, значения рН и ионного состава.

Наряду с сульфатами и хлоридами алюминия и железа в последнее время все более широкое распространение находят коагулянты с повышенной основностью – гидросульфаты и гидроксохлориды алюминия. Преимущества дигидроксосульфата  $[Al_2(SO_4)_2(OH)_2] \cdot 11H_2O$  перед сульфатом алюминия заключается в более широком диапазоне рН, высокой хлопьеобразующей способности.

Для коагуляции дисперсных систем с низким значением рН используют алюминат натрия. При более высоких значениях рН алюминат натрия применяют совместно с сульфатом алюминия.

Высокомолекулярные флокулянты обычно подразделяются на три группы: неорганические полимеры, вещества природного происхождения и синтетические органические полимеры. Наиболее широкое применение нашел класс флокулянтов синтетических органических полимеров.

Наиболее распространенными флокулянтами являются полиакриламид (ПАА), сополимеры акриламида, акрилонитрила и акрилатов, натриевые соли полиакриловой и полиметакриловой кислот.

Процесс очистки сточных вод коагуляцией и флокуляцией состоит из следующих стадий: приготовление рабочих растворов коагулянтов и флокулянтов, дозирование и смешение реагентов с водой, хлопьеобразование, осаждение хлопьев.

В процедуре разработки метода интенсификации и повышения эффективности очистки оборотной воды от взвешенных веществ с использованием коагулянтов и флокулянтов можно условно выделить четыре этапа:

1. Пробное коагулирование, в ходе которого выбираются наиболее эффективные коагулянты и флокулянты или их сочетание, устанавливается оптимальный расход и порядок введения реагентов.

2. Выбор режима смешения реагентов с оборотной водой. При этом необходимо обеспечить быстрое и равномерное распределение реагентов в обрабатываемой воде для максимального контакта частиц загрязнения с промежуточными продуктами гидролиза коагулянтов.

3. Выбор режима хлопьеобразования. Хлопьеобразование может проходить с введением и без дополнительного введения флокулянтов. На этой стадии необходимо проводить медленное перемешивание, чтобы не разрушить образовавшиеся на предыдущих этапах первичные структуры и обеспечить образование вторичных структур.

4. Определение параметров отделения скоагулированных загрязнений оборотной воды, которые могут быть использованы при проектировании или выборе очистного оборудования.

Основным недостатком реагентного метода является большое количество отходов и большой расход реагентов.

### Механическая фильтрация

Механическая фильтрация – данный метод основан на разделении жидкости и твердой фазы. Механическим способом очищают воду от твёрдых макрочастиц и механических взвесей при фильтрации через сетки, пористые перегородки с ячейками 1,0мкм до 500 мкм, или в насыпных фильтрах с зернистой загрузкой, которые задерживают твердые вещества, и пропускают жидкую фазу.

Спектр устройств механической фильтрации подразделяется на:

- Фильтры грязевики, отстойники и сетчатые;
- Картриджные фильтры механической очистки;
- Насыпные фильтры с зернистой загрузкой.

Наибольшее распространение получили насыпные фильтры с зернистой загрузкой. Они являются наиболее экономичными устройствами для очистки воды от механических примесей. Эффективность их работы



зависит от выбранной линейной скорости фильтрации и правильно подобранного гранулометрического состава загрузки.

На засыпных фильтрах удаляют частицы с размером более 10-20мкм. В процессе эксплуатации фильтрующий слой забивается, и падение давления на фильтре увеличивается, в этот момент выполняют промывку слоя, методом взрыхления.

В качестве фильтрующих загрузок применяются, фильтровальный песок фракций от 0,4 мм до 3,0мм, антрацит, загрузка Filter AG.

Механические фильтры снабжены блоками управления с многоходовыми клапанами. В фильтрах диаметром до одного метра, блок управления и многоходовой клапан с электроприводом собраны в моноблок и устанавливаются непосредственно на корпус фильтра или рядом с ним. Для больших аппаратов используется блок управления с унифицированными электро, пневмо и гидравлическими выходами, который управляет клапанами с соответствующими приводами, устанавливаемых на внешней обвязке фильтра.

Работа установок состоит из следующих операций:

- очистка воды;
- взрыхление фильтрующего слоя;
- медленная отмывка, укладка слоя.

Применяемые современные блоки управления позволяют согласовывать между собой работу большого числа фильтров, это даёт возможность реализовывать фильтрационные системы обеспечивающие непрерывность процесса фильтрации с неограниченной производительностью (при параллельном подключении фильтров).

### Мембранная очистка

Мембранная очистка – процесс, основанный на проницаемости одного или нескольких компонентов жидкой смеси, а также коллоидной системы через разделительную перегородку. Фаза, прошедшая через нее – называется фильтрат, задержанная – концентрат. Существует много мембранных процессов с различными принципами разделения, но все мембранные процессы объединяет одно - мембрана.

Основные способы мембранной фильтрации воды:

1. Установка мембранной очистки воды на основе обратного осмоса. Этот метод мембранной фильтрации воды разделяет растворы без изменения агрегатного состояния воды. Учитывая то, что размер пор в мембране не превышает размера молекулы воды, через фильтр проходит только вода и соли, а растворенные примеси задерживаются. Способ обратного осмоса, мембранного обессоливания воды, позволяет отфильтровывать практически все загрязнения: и органические, и неорганические.

2. Нанофильтрация. Мембранная установка водоподготовки отфильтровывает более крупные частицы нежели обратный осмос.

3. После нанофильтрации улучшается цвет воды и уменьшается концентрация солей. Он оптимально подходит для очистки поверхностных вод. Фильтрация проходит под давлением от 3 до 20 бар.

4. Ультрафильтрация - метод обессоливания воды по величине задерживаемых частиц после нанофильтрации. Обычно они изготавливаются из полиэфирсульфона, материала со специальными добавками, который устойчив к органическому осадку. Ультрафильтрация проходит под давлением от 1,5 до 7 бар.

5. Микрофильтрация. Этот мембранный метод очистки воды сопоставим с ультрафильтрацией по принципу действия, но есть и отличие. Оно заключается в том, что мембрана при ультрафильтрации имеет асимметричное строение, а при микрофильтрации - все определяет её толщина. Процесс фильтрации идет под внешним давлением менее 2 бар.

6. Электродеионизация воды. Один из самых недорогих способов полной деминерализации воды. Для этого используются ионообменные смолы и ионоселективные мембраны при участии постоянного электрического тока. Работает электродеионизация за счёт разности потенциалов постоянного напряжения, которое есть по обе стороны мембраны, заполненной ионообменной смолой. Получаемая вода считается деионизованной. Способ мембранной деминерализации воды используется на станциях цехов водоподготовки в теплоэнергетике, в фармацевтике, при изготовлении полупроводников и пр.

Основные характеристики мембран – селективность, проницаемость, стабильность, химическая и термическая устойчивость. Основным недостатком является - вследствие различных скоростей прохождения компонентов смеси через мембрану происходит поляризация, при которой около перегородки накапливается вещество, имеющее наименьшую скорость проникновения. Это уменьшает срок службы мембраны. Чтобы решить эту проблему, скорость потока должна быть 3-5 м/с, проводится турбулизация раствора за счет применения сеток, перфорированных или гофрированных листов, спиралей, шариков.

Мембранные процессы разделения могут быть осложнены рядом факторов, например, недостаточной стойкостью мембран к агрессивным средам и действию микроорганизмов. Химическая стойкость мембран к гидролизу обеспечивается тщательным подбором материала, характеристик рабочей среды и условий проведения процесса.

Главным недостатком мембранного метода является необходимость тщательной предварительной очистки сточных вод. Для предварительной очистки используются механические и адсорбционные фильтры, микрофильтрация, ультрафильтрация. Таким образом, сочетание существующих традиционных методов очистки сточных вод с мембранными

технологиями, а именно с обратноосмотическим обессоливанием, позволяет качественно очистить сточные воды.

## **1.5 Предложение эффективной установки очистки оборотного водоснабжения**

Наиболее распространенными схемами в практике водоподготовки являются схемы очистки с самотечным движением воды. Очистные станции водоподготовки могут осуществляться по одноступенчатой или двухступенчатой схемам.

Выбор схемы проводится на основании мутности, цветности и производительности.

Рекомендуемая область применения реагентных технологий по основным показателям качества поверхностных вод приведена в таблице 1.

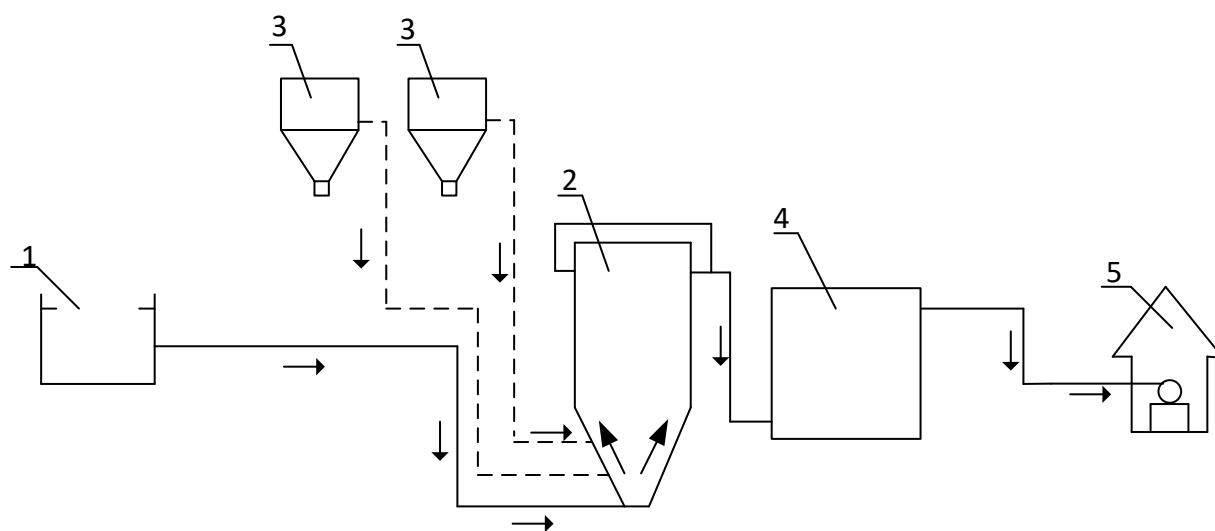
Таблица 1 – Технологические схемы осветленной воды

Основные сооружения	Мутность, мг/дм <sup>3</sup>		Цветность, град		Производительность, м <sup>3</sup> /сут
	исходная	очищенная	исходная	очищенная	
Горизонтальные отстойники	до 1500	до 1,5	до 120	до 20	свыше 30000
Осветлители со взвешенным слоем осадка	до 1500	до 1,5	до 120	до 20	свыше 5000
Контактные осветлители	до 120	до 1,5	до 120	до 20	любая

Выбор состава оборудования определяется с учетом показателей качества воды, требования к качеству воды, производительности очистных сооружений, технико-экономического обоснования.

### **1.5.1 Схема очистки оборотного водоснабжения с применением осветлителя со взвешенным слоем осадка**

С учетом заданных условий рассматривается схема очистки оборотного водоснабжения с применением осветлителей со взвешенным слоем осадка, представленная на рисунке 3.



1 – исходная вода; 2 – осветлитель; 3 – реагенты; 4 – БКВ; 5 – ТП

Рисунок 3 – Схема водоподготовки с осветлителем со взвешенным слоем осадка

Определим производительность такой установки:

$$Q_{уст} = Q_{max} + Q_{доп}, \text{ м}^3/\text{сут}$$

где  $Q_{уст}$  – производительность установки;

$Q_{max}$  – максимальный расход оборотной воды на топливоподаче,  $\text{м}^3/\text{сут}$

$Q_{доп}$  – дополнительный расход на пожаротушение, принимается  $1000 \text{ м}^3/\text{сут}$

$$Q_{уст} = 3300 + 1000 = 4300 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

### 1.5.2 Установка очистки воды «Влага»

В качестве альтернативы можно использовать безнапорную установку для очистки воды «Влага».

Преимущества установки «Влага»:

- высокая эффективность и стабильность работы при изменениях показателей исходной воды;
- надежность и долговечность;
- простота обслуживания;
- автоматизация обеспечивает управлять установкой дистанционно;
- успешный многолетний опыт эксплуатации в России и других странах.

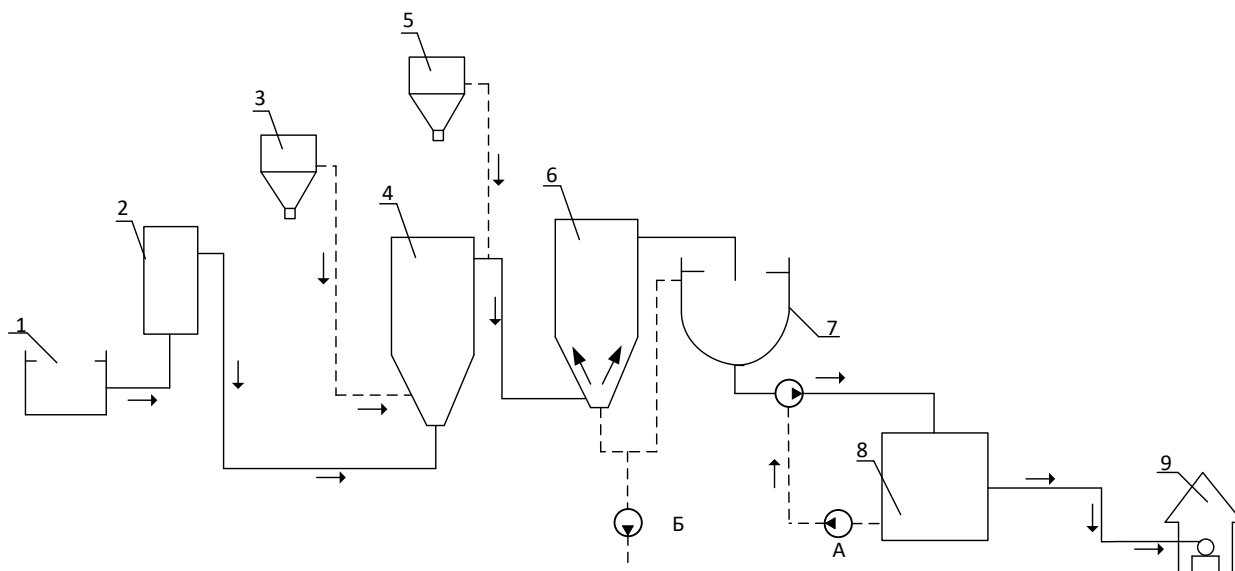


Рисунок 4 – Принципиальная технологическая схема работы

Рабочий цикл установки "ВЛАГА":

1. подача исходной воды;
2. сетчатый фильтр;
3. блок приготовления и дозирования коагулянта;
4. смеситель-воздухоотделитель;
5. блок приготовления и дозирования флокулянта;
6. осветлитель с тонкослойно-рециркуляционной камерой хлопьеобразования;
7. скорый песчаный фильтр
8. резервуар чистой воды;
9. ТП

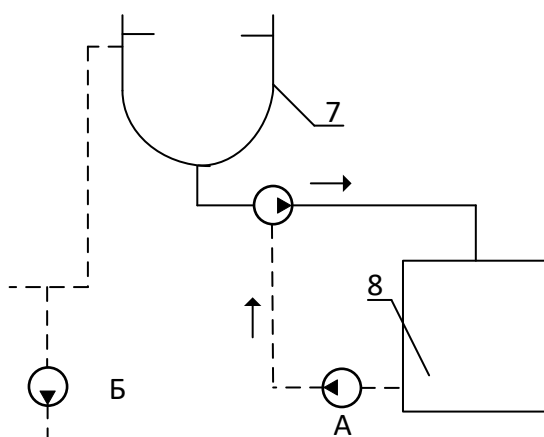


Рисунок 5 – Промывка скорого песчаного фильтра

А – насос подачи промывной воды

Б - сброс промывной воды из фильтра

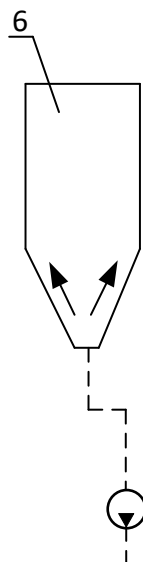


Рисунок 6—Сброс осадка из осветлителя с тонкослойно-рециркуляционной камерой

Принцип работы установки «ВЛАГА».

Очистка воды осуществляется по традиционной самотёчной двухступенчатой схеме: смеситель – осветлитель - фильтр. Однако имеются существенные отличительные особенности, обеспечивающие высокие удельные нагрузки и, одновременно, гарантирующие требуемую степень очистки.

Исходная вода (1) поступает в сетчатый фильтр (2), далее подаётся в смеситель-воздухоотделитель (4). Раствор коагулянта (3) дозируется в нижнюю часть смесителя-воздухоотделителя (4). Раствор флокулянта (5) дозируется перед подачей в нижнюю зону осветлителя с камерой хлопьеобразования (6), где равномерно распределяется по всей площади с помощью струйных низкоскоростных низконапорных рециркуляторов. Происходит рециркуляция ранее выпавшего адгезионно-активного осадка и его контакт с вновь поступившей взвесью исходной воды. Над рециркуляторами ниже шламоотводящих окон установлены тонкослойные модули, повышающие эффективность хлопьеобразования и равномерность распределения воды.

Далее вода поднимается в зону тонкослойного осветления. Через шламоотводящие окна в шламоуплотнитель поступает выпавшая взвесь, уплотняется и частично обезвоживается (до 98-99,5% влажности) с помощью тонкослойных модулей, установленных в нижней зоне шламоуплотнителя.

Осветленная вода собирается в общий трубопровод и подается на скорый песчаный фильтр (7). Фильтр оборудован колпачковым дренажом, на который послойно уложены поддерживающие слои гравия и фильтрующего

материала. Очищенная и обеззараженная гипохлоритом натрия (8) вода поступает в резервуар чистой воды (9) и далее подается потребителям (10).

Промывка фильтра осуществляется очищенной водой, подающейся с помощью насоса подачи промывной воды (А) из резервуара чистой воды. Промывная вода отводится в канализацию (Б).

Сброс осадка из осветлителя (Б) в канализацию осуществляется по мере накопления.

Гидравлическая схема расположения трубопроводов водоочистой установки «ВЛАГА» позволяет подавать исходную воду, минуя отстойники, непосредственно на фильтры. Это бывает необходимо при запуске станции водоочистки в эксплуатацию, или зимой, в периоды очень низких температур, когда контактная коагуляция непосредственно на зёрнах фильтрующей загрузки бывает более эффективной.

Использование современных высокоэффективных методов тонкослойно-рециркуляционного хлопьеобразования, тонкослойного осаждения, а также предварительного гравитационного уплотнения и обезвоживания выпавшего осадка обеспечивает высокое качество очистки воды на протяжении всех сезонов года и невысокие (не более 2-3%) расходы воды на собственные нужды.

Производительность установок «Влага»: от 800 м<sup>3</sup>/сут до 12000 м<sup>3</sup>/сут.

Качество исходной воды:

- мутность - до 1000 мг/л (при показателе мутности свыше 1000 мг/л установка дополнительно комплектуется предварительным отстойником или плавучим тонкослойным водозабором);
- цветность - до 300 град.
- повышенное содержание железа, марганца, фтора, солей жёсткости и др.

### **1.5.3 Мембранные модули 3M™ Liqui-Flux™ для ультрафильтрации**

Передовая мембранная технология от 3M™ Liqui-Flux™ обеспечивает эффективную и экономичную ультрафильтрационную обработку для восстановления воды для повторного использования, обеспечивая вам надежный, экономичный и устойчивый процесс фильтрации.

3M™ Liqui-Flux™ это хорошая альтернатива традиционной обработке. Даже при колебаниях уровня загрязнения ультрафильтрационные модули демонстрируют надежную работу, удаляя патогенные микроорганизмы, мутность и взвешенные твердые частицы из пресной воды.

Ультрафильтрационные модули успешно установлены и надежно работают во всем мире в течение нескольких лет в разных областях от производств пищевых продуктов до автомобильных заводов.

Половолоконная мембрана ультрафильтрации UltraPES- это сердце мембранного модуля 3M™ Liqui-Flux™. Мембрана из полиэфирсульфона UltraPES обеспечивает поддерживающий слой на внутренней стороне мембраны.

Она демонстрирует хороший гидрофильный показатель, который снижает возможность обрастания. Более того, UltraPES демонстрирует высокую устойчивость, позволяя модулям 3M™ Liqui-Flux™ работать при значениях pH от 1 до 13.

Мембраны известны своей хорошо выраженной пористой структурой. В UltraPES применяется трехслойная структура, выраженная высокопористым опорным слоем, разделительным слоем, который дает механическую прочность благодаря более плотным полимерным связкам и защитному слою на внешней стороне, благодаря порам меньшего размера для защиты всей структуры мембраны и целостности.

Прочная асимметричная структура, в результате, дает превосходное соотношение прочности и уровня удерживания. Все это позволяет UltraPES достичь высокого объема потока при низком трансмембранном давлении и обеспечить значительное снижение затрат электроэнергии, а в результате и низкие эксплуатационные расходы, что особенно важно для больших фильтрационных установок.



Рисунок 7 - Технология Multifiber P. E. T.™.

Мембраны из полых волокон стабилизированы технологией MULTIFIBER P. E. T. компании 3M, где пряжа P. E. T. скручивается вокруг полых волокон и заливается ими. Это обеспечивает превосходную механическую поддержку мембраны и обеспечивает долгосрочную стабильность.





Рисунок 8 – Гидродинамика мембраны

Контролируемая гидродинамика: равномерное распределение потока способствует эффективной обратной промывке. Специальная конструкция модуля оптимизирована для благоприятных гидродинамических условий во время процедуры обратной промывки.

Введение воды обратной промывки через сужающийся кольцевой канал обеспечивает равномерное распределение давления. Это приводит к отличной физической очистке. Для отделения сырья со стороны фильтрата не требуется уплотнительного кольца, что снижает вероятность перекрестного микробиологического загрязнения.

Особенности мембраны:




- Великолепная проницаемость
- Узкий разброс размера пор
- Надежное удаление патогенных бактерий
- Крайне низкие требования к давлению
- Низкая возможность обрастания
- Высокая температурная и химическая устойчивость (pH 1 – 13)
- Минимальное потребление электроэнергии

Модули 3M™ Liqui-Flux™ могут быть разной конфигурации и типоразмеров в зависимости от области применения, подходящие модули указаны в таблице 2.

Конструктивные особенности модуля Liqui-Flux 75 м<sup>2</sup>.

Отдельно стоящий модуль включает в себя 9 дискретных мембранных сегментов, каждый из которых вставлен в прочную защитную трубу, позволяющую увеличивать рабочую площадь фильтрации до 75 м<sup>2</sup>.

Таблица 2 – Типоразмеры модулей

Тип модуля	Liqui-Flux W02	Liqui-Flux W04	Liqui-Flux W10
			
Материал корпуса	FRP	FRP	PVC
Площадь фильтрации	61 м <sup>2</sup>	75 м <sup>2</sup>	75 м <sup>2</sup>
Область применения	Крупномасштабные промышленные установки	Крупномасштабные промышленные установки	Крупномасштабные промышленные установки и установки для очистки питьевой воды

Пространство между отдельными вставками оптимизировано, чтобы гарантировать низкий перепад давления во время обратной промывки, что делает ее более эффективной, чем внутри плотно упакованной оболочки.

В небольших по длине мембранах, Модули Liqui-Flux предусматривают короткие внутренние каналы промывки. Более того, попадание воды для обратной промывки из узкого выходного кольца гарантирует замечательные показатели физической промывки по сравнению с конструктивом, оснащенным центральной трубой.

И в довершение, все ультрафильтрационные модули Liqui-Flux не имеют кольцевой прокладки для разделения подачи со стороны фильтрата, а следовательно, при долгом сроке эксплуатации снижается потенциальное микробиологическое перекрестное заражение.

Большая рабочая поверхность модуля -это прямое снижение затрат, так как для установки требуется меньше трубопроводов и запорной арматуры, а также снижается само время проведения монтажных работ, особенно на больших установках.

Особенности и преимущества:

- Максимальная площадь фильтрации – 75 м<sup>2</sup>.
- Компактный модульный конструктив, оптимизированные гидродинамические свойства, простое управление
- Надежная очистка даже «сложной» воды с меняющимся качеством, простая эксплуатация
- Эффективная очистка мембраны, короткие каналы для обратной промывки
- Нет кольцевых прокладок для разделения входящего потока и фильтрата
- Меньше занимаемая площадь
- Экономия затрат

#### **1.5.4 Использование действующей установки очистки воды**

На станции предусмотрена очистка замазученных вод через установку УОЗВ. Сточные воды поступают в существующую подземную емкость 1000 м<sup>3</sup>, где происходит отстаивание мазута. Из подземной емкости стоки насосами НПС подаются последовательно на флотатор первой ступени Ф-1, а затем на флотатор второй ступени Ф-2. При увеличении гидравлической нагрузки предусмотрена работа флотаторов Ф-1,2, в параллельном режиме. Для увеличения эффективности процесса флотации перед флотаторами предусмотрено дозирование коагулянта марки Аква Аурат 30 и флокулянта марки Праестол 852 ВС (Магнафлок 10). Для этого установлены станции дозирования СДРК, СДРФ-1, соответственно.

Дозирование реагентов осуществляется пропорционально потоку воды, поступающей на флотаторы.

Для увеличения эффективности процесса коагуляции предусмотрены контактные емкости - коагуляционные камеры, расположенные перед флотаторами. При последовательной работе флотаторов дозирование реагентов осуществляется только перед флотатором первой ступени Ф-1, при параллельной работе флотаторов дозирование осуществляется перед обоими флотаторами.

Осветленная вода с флотаторов поступает в БОВ и далее насосами НВФ подается последовательно на доочистку на фильтры 1УФ-1,2 и 2УФ-1,2.

Флотопена (мазут) с флотатора первой ступени Ф-1 поступает в БУМ и далее, шибберными насосами НПУМ перекачивается в мазутохранилище. Флотопена с флотатора второй ступени Ф-2, а также донный осадок с обоих флотаторов поступают в БШ. Для эффективного удаления осадка предусмотрено дозирование флокулянта непосредственно в БШ с помощью станции дозирования СДРФ-2. Далее, осадок эксцентрико-шнековыми насосами НБШ перекачивается на мешочный обезвоживатель ОШМ. Осветленная на мешочном обезвоживателе вода с помощью насосов НФО возвращается в подземную емкость, либо самотеком в дренажный приямок при открытой арматуре, а затем в 1000м<sup>3</sup>.

Осветлительные фильтры 1УФ-1,2 типа ФОВ-3,4-0,6 (2 шт.) и сорбционные фильтры 2УФ-1,2 типа ФСУ-3,4-0,6 (2 шт.) предназначены для доочистки осветленной воды, поступающей с флотаторов от нефтепродуктов. В качестве фильтрующего материала в данных фильтрах применяют гидроантрацит А в фильтрах первой ступени с высотой загрузки 0,8м и активированный уголь (ДАК-5) в фильтрах второй ступени с высотой загрузки 1,8м. Отфильтрованная вода собирается в баке отстойника.

Регенерация фильтрующего материала в фильтрах ФОВ 1УФ-1,2 происходит путем взрыхляющей промывки водой с бака отстойника с помощью насосов НПФ и периодическим пропариванием, регенерация фильтров ФСУ 2УФ-1,2 также производится промывкой взрыхляющей водой с бака отстойника с помощью насосов НПФ. При увеличении концентрации нефтепродуктов более 0,05 мг/л на выходе фильтров второй ступени производится замена фильтрующего материала (активированного угля ДАК-5) в фильтре второй ступени, как правило, один раз в год. Отмывочные воды сбрасываются в приямок и далее откачиваются в подземную емкость дренажным насосом НДВ-1.

Данный метод очистки применим и для очистки оборотной воды топливоподдачи. Объем подземной емкости и нормы качества воды на выходе из установки, позволяют пропускать оборотную воду топливоподдачи через УОЗВ. Проведя трубопровод от топливоподдачи до здания УОЗВ, мы решаем проблему с обслуживанием чаш ОТВС, а именно чистка и вывоз шлама,

уменьшаем контроль оборудования для оперативного персонала топливоподачи, сокращая время обхода оборудования.

Таблица 3- Зависимость дозы коагулянта от прозрачности исходной воды

Оценка прозрачности	Прозрачность по шрифту, см	Содержание взвешенных веществ, мг/дм <sup>3</sup>	Доза коагулянта мг/л
прозрачная	более 30	менее 3-4	0,15
слабо мутная	25-30	менее 5-6	0,2
средне мутная	20-25	6-10	0,25
мутная	10-20	10-30	0,3
очень мутная	менее 10	более 30	0,35-0,4

Таблица 4- Зависимость дозы флокулянта от прозрачности исходной воды

Оценка прозрачности	Прозрачность по шрифту, см	Содержание взвешенных веществ, мг/дм <sup>3</sup>	Доза флокулянта мг/л
прозрачная	более 30	менее 3-4	0,15
слабо мутная	25-30	менее 5-6	0,2
средне мутная	20-25	6-10	0,25
мутная	10-20	10-30	0,3
очень мутная	менее 10	более 30	0,35-0,4

### 1.1.5 Использование станций дозирования реагентов для очистки воды

Станции приготовления реагентов предназначены для очистки оборотной воды топливоподачи. Они работают в автоматическом режиме: дозирование реагентов осуществляется автоматически пропорционально потоку воды, поступающей на установку.

Качество очищенной воды должно удовлетворять следующим требованиям (точка отбора проб – напорный трубопровод насосной осветленной воды):

- pH: 7,0 – 8,5;
- содержание взвешенных веществ: не более 200 мг/л.

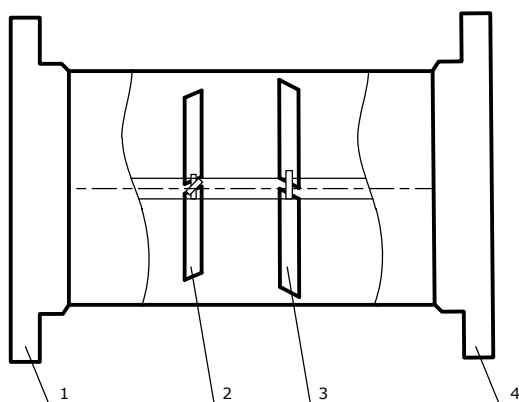


Рисунок 9 – Принципиальная схема обработки воды топливоподачи

В состав системы дозирования реагентов входят:

- станция приготовления и дозирования раствора коагулянта;
- станция приготовления и дозирования раствора флокулянта;
- станция дозирования раствора гипохлорита натрия.

Для лучшего перемешивания реагентов с потоком обрабатываемой воды после ввода растворов коагулянта и флокулянта на трубопроводе К6Н и после ввода гипохлорита натрия на трубопроводе В10 установлены гидравлические смесители.



1 – входной патрубок; 2,3 – крыльчатка; 4 – выходной патрубок

Рисунок 10 – Гидравлический смеситель

В корпусе смесителя, выполненного в виде отрезка трубы, размещена вставка из двух последовательно расположенных на оси крыльчаток с противоположным направлением лопаток. Крыльчатка 2 придает смеси винтообразное движение, усиливая перемешивание и направляет поток на крыльчатку 3, функция которой состоит в плавном торможении потока.

Так как система автоматическая, то все операции осуществляются с щита управления ТТЦ. Запуск автоматического дозирования раствора коагулянта, флокулянта, автоматического дозирования раствора гипохлорита натрия осуществляется при условии, если подготовлены все растворы, нет аварийной ситуации.

Останов оборудования и его переход в режим «ожидания» происходит после того, как прекращается расход воды, подаваемой на установку для реагентной обработки.

Станция приготовления и дозирования коагулянта необходима для эффективного удаления из оборотной воды коллоидных и растворенных загрязнений.

Узел приготовления и дозирования раствора коагулянта включает в себя:

- Баки раствора коагулянта с электрической мешалкой (предназначены для приготовления и хранения раствора коагулянта);
- Насосы-дозаторы;
- Сетчатый для защиты насосов-дозаторов от загрязнения и повреждения механическими частицами.

Станция дозирования раствора флокулянта предназначена для дозирования рабочего раствора флокулянта в трубопровод системы оборотного водоснабжения после точки дозирования раствора коагулянта.

Дозирование раствора флокулянта производится для эффективного удаления из оборотной воды коллоидных и растворенных загрязнений.

Узел приготовления и дозирования раствора флокулянта включает в себя:

- Станцию приготовления раствора флокулянта;
- Станцию дозирования раствора флокулянта;
- Насосы-дозаторы;
- Сетчатый фильтр для защиты насосов-дозаторов от загрязнения и повреждения механическими частицами.

Станция дозирования раствора гипохлорита натрия предназначена для подачи гипохлорита натрия в трубопровод системы оборотного водоснабжения после чаш ОТВС для обеззараживания оборотной воды.

Станция дозирования раствора гипохлорита натрия включает в себя:

- Емкости для дозирования (предназначены для хранения раствора гипохлорита натрия);
- Насосы-дозаторы;
- Сетчатый фильтр для защиты насосов-дозаторов от загрязнения и повреждения механическими частицами.

В связи с тем, что схема с использованием установки очистки воды «ВЛАГА», является цельной готовой установкой, без возможности дробления на отдельные нужные механизмы очистки, в дальнейшем не будем рассматривать данный вариант. Нам необходимо очищать воду от взвешенных веществ, а установка в полной комплектации подразумевает очистку воды до питьевого качества, что приведет к необоснованным затратам.

Использование действующей установки на станции УОЗВ так же не подходит для дальнейшего расчета схемы, так как установка очистки замасоченных вод имеет ограничение по взвешенным веществам (см. таблицу 5).

Таблица 5 - Показатели качества исходной воды

Показатель	Значение
рН, ед рН	6,5 – 8,5
Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup>	не более 100
Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	не более 100

Использование станций дозирования реагента подразумевают использование чаш ОТВС больших объемов, что не очень рационально в обслуживании, так как фактический расход оборотной воды в разы меньше. Так же их территориальное расположение не совсем удобно для обхода, а холодное время года негативно скажется на процессах коагуляции и флотации. Поэтому принято решение отказаться от данной схемы очистки.

Таким образом будут рассматриваться оставшиеся два варианта схем очистки оборотной воды, и будет выбрана самая эффективная и экономически выгодная схема очистки оборотной воды топливоподачи для реконструкции.



## 2 Расчет схемы очистки оборотной воды топливоподачи

### 2.1 Схема очистки с осветлителем со взвешенным слоем осадка

Производительность осветлителя выбирается с учетом 5-10% воды на собственные нужды, таким образом производительность составит, м<sup>3</sup>/ч:

$$Q = Q_1 + Q_2, \quad (2.1)$$

где  $Q_1$  – необходимый расход воды на топливоподачу;

$Q_2$  – расход воды на собственные нужды.

$$Q = 125 + 25 = 150 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Для того, чтобы выбрать марку осветлителя, необходимо рассчитать его площадь, м<sup>2</sup>:

$$F = F_1 + F_2, \quad (2.2)$$

где  $F_1$  – площадь осветления;

$F_2$  – площадь осаждения.

$$F_1 = \frac{K \cdot Q}{V_1}, \quad (2.3)$$

где  $K$  – коэффициент распределения воды;

$Q$  – расчетная производительность водоочистной станции, м/с;

$V_1$  – скорость восходящего потока в зоне осветления, м/с;

$$F_1 = \frac{0,6 \cdot 0,048}{0,001} = 28,8 \text{ м}^2.$$

$$F_2 = \frac{(1-K) \cdot Q}{\alpha \cdot V_1}, \quad (2.4)$$

где  $\alpha$  – коэффициент снижения скорости восходящего потока воды в зоне отделения осадка;

$$F_2 = \frac{(1-0,6) \cdot 0,048}{0,9 \cdot 0,001} = 21,3 \text{ м}^2.$$

Площадь осветлителя, м<sup>2</sup>:

$$F = 28,8 + 21,3 = 50,1 \text{ м}^2.$$

Перед подачей исходной воды в осветлитель в нее добавляются реагента, такие как коагулянт и флокулянт, доза которых из таблицы №3, №4 соответственно, и равна:

$$D_k = 0,35 \text{ мг/л.}$$

$$D_f = 0,35 \text{ мг/л.}$$

Суточный расход коагулянта, кг/сут:

$$Q_k = \frac{D_k \cdot Q}{10 \cdot P_k},$$

(2.5)

где  $D_k$  – доза коагулянта;

$Q$  – производительность осветлителя, м<sup>3</sup>/сут;

$P_k$  – содержание активного вещества в реагенте, %.

$$Q_k = \frac{0,35 \cdot 3600}{10 \cdot 17} = 7,41 \text{ кг/сут.}$$

Годовой расход коагулянта, кг/год:

$$Q_{кг} = 7,41 \cdot 365 = 2704,65 \approx 2705 \text{ кг/год.}$$

В качестве коагулянта выбираем «Аква-Аурат-18» в еврокубе 1м<sup>3</sup>, содержащий 1360 кг коагулянта 17%.

Годовой расход раствора, кг/год:

$$Q_{рк} = Q_{кг} + Q_v,$$

(2.6)

где  $Q_v$  – расход воды;

$$Q_{рк} = 2705 + 13207 = 15912 \text{ кг/год.}$$

Так как поставляется сразу разбавленный коагулянт, то количество еврокубов в год, шт:

$$N = \frac{Q_{рк}}{1360},$$

(2.7)

$$N = \frac{15912}{1360} = 11,7 \approx 12 \text{ шт.}$$

Суточный расход флокулянта, кг/сут:

$$Q_{\phi} = \frac{D_{\phi} \cdot Q}{10 \cdot P_{\phi}},$$

(2.8)

где  $D_{\phi}$  – доза флокулянта;

$Q$  – то же, что и в формуле (2.5);

$P_{\phi}$  – содержание активного вещества в реагенте, %.

$$Q_{\phi} = \frac{0,35 \cdot 3600}{10 \cdot 10} = 12,6 \text{ кг/сут.}$$

Годовой расход флокулянта, кг/год:

$$Q_{\phi\text{г}} = 12,6 \cdot 365 = 4599 \text{ кг/год.}$$

Объем бака мерника флокулянта, м<sup>3</sup>:

$$V_{\phi} = \frac{D_{\phi} \cdot n \cdot Q}{10000 \cdot \rho \cdot P_{\phi}},$$

(2.9)

где  $D_{\phi}$  – доза флокулянта;

$Q$  – то же, что и в формуле (2.5);

$P_{\phi}$  – то же, что и в формуле (2.8);

$\rho$  – объемная масса раствора реагента, т/м<sup>3</sup>.

$$V_{\phi} = \frac{0,35 \cdot 12 \cdot 3600}{10000 \cdot 1,3 \cdot 10} = 0,12 \text{ м}^3.$$

В качестве флокулянта выбираем Праестол 857 ВС, поставляющийся в мешках по 25 кг.

Количество мешков для годового запаса, шт:

$$n = \frac{Q_{\phi\text{г}}}{25},$$

(2.10)

$$n = \frac{4599}{25} = 183,96 \approx 184 \text{ шт.}$$

## 2.2 Схема очистки с мембранными модулями 3M™ Liqui-Flux™ для ультраfiltrации

Производительность мембранного модуля выбирается с учетом 40% воды на собственные нужды, таким образом производительность составит (см. формулу 2.1), м<sup>3</sup>/ч:

$$Q = 125 + 50 \approx 175 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Количество мембран для модульной установки, шт:

$$n_m = \frac{Q}{Q_m},$$

(2.11)

где  $Q_m$  – производительность одной мембраны;

$$n_m = \frac{175}{2,5} = 70 \text{ шт.}$$

Модульная установка комплектуется в 7 блоков по 10 мембран в каждом блоке.

Суточный расход коагулянта (см. формулу 2.5), кг/сут:

$$Q_k = \frac{4200 \cdot 0,35}{10 \cdot 17} = 8,65 \text{ кг/сут.}$$

Годовой расход коагулянта, кг/год:

$$Q_{кг} = 8,65 \cdot 365 = 3157,25 \text{ кг/год.}$$

Годовой расход раствора (см. формулу 2.6), кг/год:

$$Q_{рк} = 3157,25 + 15414 = 18572 \text{ кг/год.}$$

При использовании того же коагулянта, что и в схеме с осветлителем со взвешенным слоем осадка, количество еврокубов в месяц (см. формулу 2.7), шт:

$$N = \frac{18572}{1360} = 13,65 \approx 14 \text{ шт.}$$

Суточный расход флокулянта (см. формулу 2.8), кг/сут:

$$Q_\phi = \frac{4200 \cdot 0,35}{10 \cdot 10} = 14,7 \text{ кг/сут.}$$

Годовой расход флокулянта, кг/год:

$$Q_{\phiг} = 14,7 \cdot 365 = 5365,5 \approx 5366 \text{ кг/год.}$$

Объем бака мерника флокулянта (см. формулу 2.9), м<sup>3</sup>:

$$V_\phi = \frac{0,35 \cdot 12 \cdot 4200}{10000 \cdot 1,3 \cdot 10} = 0,14 \text{ м}^3.$$

При использовании того же флокулянта, что и в схеме с осветлителем со взвешенным слоем осадка, количество мешков флокулянта для годового запаса (см. формулу 2.10), шт:

$$n = \frac{5366}{25} = 214,64 \approx 215 \text{ шт.}$$

Годовой расход лимонной кислоты на промывку мембранных модулей, кг:

$$Q_{\text{ЛК}} = q \cdot n, \quad (2.12)$$

где  $q$  – количество лимонной кислоты на одну обработку (100%), кг;  
 $n$  – количество промывок лимонной кислотой в год.

$$Q_{\text{ЛК}} = 30 \cdot 1120 = 33600 \text{ кг/год.}$$

Годовой расход гипохлорита натрия, кг:

$$Q_{\text{ГХН}} = \frac{V \cdot n \cdot \rho}{1000}, \quad (2.13)$$

где  $V$  – объем товарного раствора гипохлорита натрия (массовая доля активного хлора 120 г/дм<sup>3</sup>) на одну промывку (по результатам ПНР), м<sup>3</sup>;

$n$  – количество обработок УУФ раствором гипохлорита натрия в год, шт;

$\rho$  – плотность товарного раствора гипохлорита натрия (массовая доля активного хлора 120 г/дм<sup>3</sup>), г/дм<sup>3</sup>.

$$Q_{\text{ГХН}} = \frac{2,5 \cdot 4200 \cdot 120}{1000} = 1260 \text{ кг/год.}$$

Годовой расход гипохлорита натрия на консервацию, кг:

$$Q_{\text{ГХНК}} = q \cdot n, \quad (2.14)$$

где  $q$  – количество гипохлорита натрия на одну консервацию, кг;

$n$  – количество консерваций УУФ раствором гипохлорита натрия в год, шт;

$$Q_{\text{ГХНК}} = 41 \cdot 84 = 3444 \text{ кг/год.}$$

### **3 Выбор основного оборудования схемы очистки оборотной воды топливоподачи**

#### **3.1 Схема очистки с осветлителем со взвешенным слоем осадка**

Технология обработки воды в осветлителе:

Вода, подается в воздухоотделитель через воронки, где она освобождается от избытков воздуха. С воздухоотделителя, по центральной отводящей трубе, через тангенциально расположенное сопло с регулирующим устройством поступает в нижнюю коническую часть осветлителя. Подвод растворов коагулянта и извести производится через радиально расположенные штуцера. Такой подвод способствует их лучшему перемешиванию.

В нижней конической части осветлителя протекают основные химические реакции осаждения. При этом происходит выпадение хлопьевидного осадка, которое заканчивается в цилиндрической части аппарата. Сорбционные процессы протекают на протяжении всего периода контакта жидкости со взвешенным осадком. Взвешенный осадок создается восходящим потоком обрабатываемой воды и образует контактную среду (так называемый взвешенный шламовый фильтр), на поверхности частиц которой кристаллизуются вещества, выделяющиеся из воды в виде твердой фазы. Пропуск воды через толщу взвешенного осадка ускоряет процессы кристаллизации, углубляет процессы сорбции, способствует умягчению, осветлению и стабильности воды.

По мере подъема воды из конической части в цилиндрическую вращательное движение, созданное тангенциальным подводом воды в конической части осветлителя, гасится, встречая на своем пути вертикальные смесительные перегородки и горизонтальную решетку, придающие воде поступательное восходящее направление движения.

Основная часть воды, поступившей в осветлитель, проходит помимо шламоуплотнителя (ШУ) и встречает верхнюю распределительную решетку, выравнивающую нагрузку по площади сечения. Пройдя решетку, вода поступает в отверстия сборного желоба, по нему отводится в сборный короб обработанной воды и далее в БКВ.

Часть обрабатываемой воды вместе с увлекаемым ею осадком из собственно осветлителя в ШУ через окна в шламоприемной трубе. ШУ представляет собой напорный вертикальный отстойник, встроенный в осветлитель. В нем происходит отделение шлама от жидкости. Шлам оседает на поверхности конического днища, уплотняется и удаляется в дренаж по линии непрерывной продувки.

Осветленная вода через отверстия в сборном коллекторе ШУ поступает в трубу, отводящую ее в распределительное устройство осветлителя и далее в сборный короб осветленной воды, где она смешивается с основным потоком обработанной воды.

Практически размеры «отсечки» зависят от качества образующегося осадка и составляют 10–20% производительности осветлителя.

Количество воды, отводимой из зоны зашламлиения в ШУ, складывается из расхода на непрерывную продувку и расхода, возвращаемого в распределительное устройство.

Количество воды, поступающей в ШУ, в значительной степени зависит от размера открытия задвижки у распределительного устройства.

Поступление воды в распределительное устройство в свою очередь зависит от разности уровней воды в корпусе осветлителя и отметки низа горизонтальной трубы, отводящей воду из ШУ в распределитель. Слив из трубы ШУ («отсечка») в распределительное устройство должен быть свободным, при затоплении слива действующий напор падает и уменьшается поступление воды и шлама в ШУ, и этим нарушаются условия регулирования толщи осадка.

Размер «отсечки» устанавливается такой, при котором, с одной стороны, обеспечивается поддержание требуемого слоя взвешенного осадка, а с другой, - соблюдается прозрачность воды, отводимой из ШУ в распределительное устройство.

Непрерывная продувка ШУ устанавливается до тех минимальных размеров, при которых еще не наблюдается скапливание осадка в ШУ и ухудшение эффекта осветления выходящей из него воды.

Размер непрерывной продувки практически составляет 1% производительности.

Периодическая продувка осветлителя предназначена для удаления шлама, осевшего в нижней конусной части осветлителя, производится через грязевик.

Таблица 6 - Основные технологические показатели осветлителя

Марка	ВТИ-250И
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	120-250
Общая площадь осветлителя, м <sup>2</sup>	53
Общий геометрический объем, м <sup>3</sup>	413
Общая высота, м <sup>2</sup>	10,7
Высота зоны осветления, м	2,1
Время пребывания воды в осветлителе, ч	2-2,5

**Пробоотборные точки ручного контроля осветлителя:**

1. Конус осветлителя (грязевик)
2. Зона смешения реагентов с водой

3. Зона стабилизовавшейся щелочности (контроль доз реагентов)
4. Зона шламового фильтра
5. Зона нижнего края шламоприемных окон
6. Зона верхнего края шламоприемных окон
7. Зона осветления воды в корпусе осветлителя
8. Нижняя часть шламовой зоны шламоуплотнителя
9. Зона верхнего уровня шлама в шламоуплотнителе
10. Зона осветления воды в шламоуплотнителе
11. Трубопровод коагулированной воды
12. Распределительное устройство
13. «Отсечка»



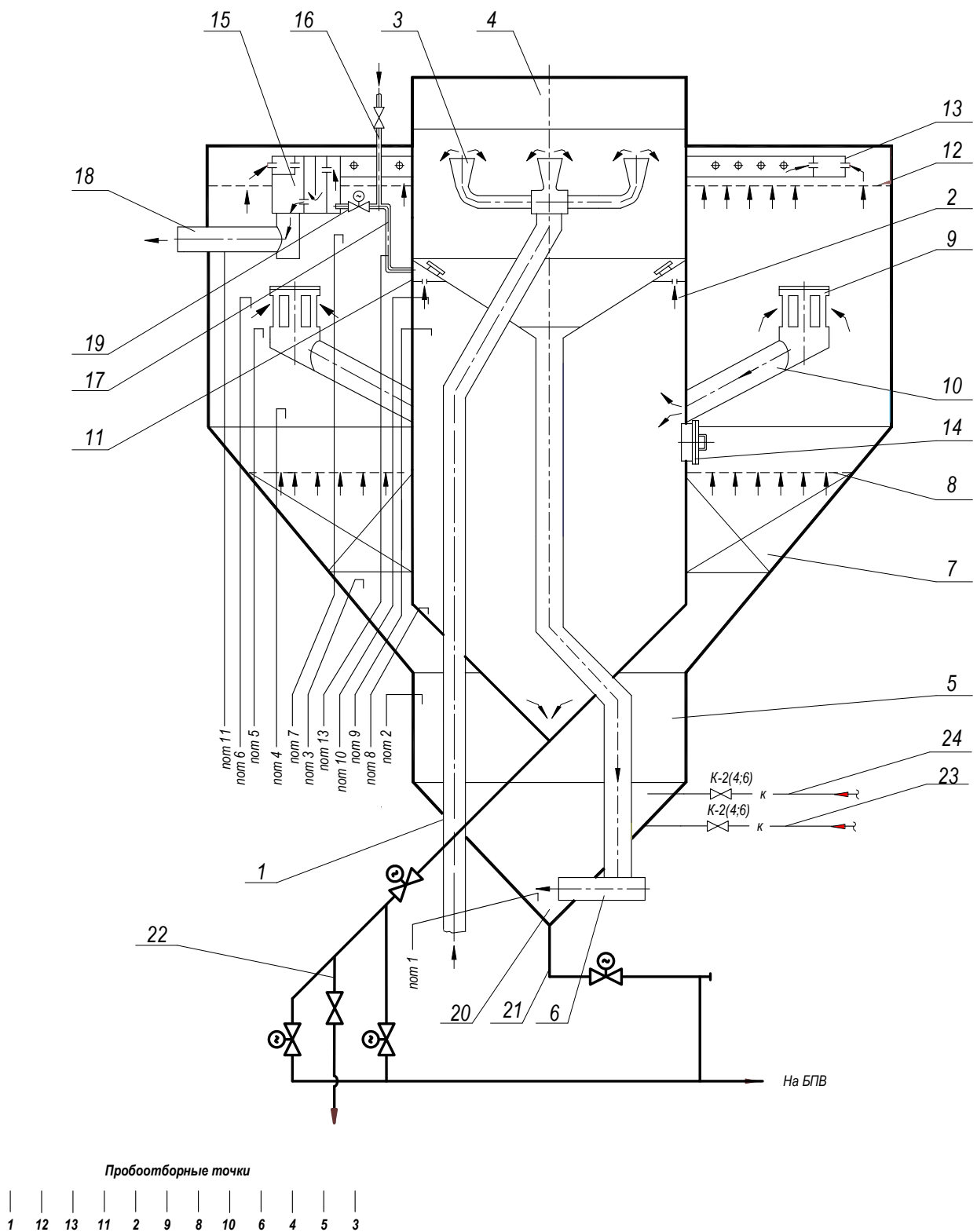


Рисунок 11 – Осветлитель ВТИ-250И

**Конструкционные элементы осветлителя ВТИ-250И:**

1. Трубопровод исходной воды
2. Корпус шламоуплотнителя
3. Распределительная система воздухоотделителя
4. Воздухоотделитель

5. Смеситель
6. Сопловое устройство
7. Вертикальная решетка
8. Горизонтальная решетка
9. Шламоприемное окно
10. Шламоотводящие трубы
11. Сборный коллектор шламоуплотнителя
12. Распределительная решетка
13. Сборный кольцевой желоб
14. Смотровой люк шламоуплотнителя
15. Приемный короб осветленной воды
16. Трубопровод коагулированной воды для промывки коллектора «отсечки»
17. Коллектор «отсечки»
18. Трубопровод отвода коагулированной воды
19. «Отсечка» (заслонка)
20. Грязевик
21. Периодическая продувка
22. Непрерывная продувка
23. Ввод раствора коагулянта в конус осветлителя
24. Ввод раствора флокулянта в конус осветлителя

### **3.2 Схема очистки с мембранными модулями 3M™ Liqui-Flux™ для ультраfiltrации**

Существует две схемы фильтрации тупиковая и тангенциальная фильтрация.

При тупиковом фильтровании весь объем воды фильтруется через нее. Загрязнения собираются на поверхности или в объеме мембраны, образуя слой отложений. Со временем толщина этого слоя растет, и уменьшается скорость фильтрования. Производительность и ресурс мембраны зависят от содержания загрязнений, фракционного состава и размера пор мембраны. Такие мембраны используются однократно без регенерации.

Для длительной работы мембранного элемента необходимо обеспечить непрерывный смыв загрязнений. Для этого организуется постоянное омывание мембраны исходным потоком (рециркуляция), такой способ называется фильтрация с тангенциальным потоком.

Таблица 7 – Основное оборудование схемы очистки с осветлителем со взвешенным слоем

Наименование оборудования	Аббревиатура	Количество	Тип	Технологическая характеристика
Бак коагулированной воды	БКВ	1		$V = 200 \text{ м}^3$ ; $D = 3625 \text{ мм}$ ; $H = 4900 \text{ мм}$
Насос коагулированной воды	НКВ	2	Д 315-50а	$Q = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; $P=55 \text{ кВт}$ ; 3000 об/мин;
Насос промывки осветлительных фильтров	НПОФ	2	D-200-36	$Q = 200 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; $P = 3,6 \text{ кгс/см}^2$ ; 1450 об/мин
Бак продувочных вод	БПВ	1		$V = 25 \text{ м}^3$ ; $H = 2500 \text{ мм}$
Насос продувочных вод	НПВ	2	ТХ 20/12	$Q = 20 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; $P = 1,2 \text{ кгс/см}^2$
Насос дозатор раствора коагулянта	НДРК	2	НД 3М320/16КА	$Q = 352 \text{ л/ч}$ ; $P = 16 \text{ кгс/см}^2$
Мерник раствора флокулянта	МРФ	2		$V = 1 \text{ м}^3$ ; $D = 1264 \text{ мм}$ ; $H = 1100 \text{ мм}$
Насос дозатор раствора флокулянта	НДРФ	2	НД 3М320/16КА	$Q = 352 \text{ л/ч}$ ; $P = 16 \text{ кгс/см}^2$
Насос подачи исходной воды	НПИВ	4	ГраТ-170/40	$Q = 140 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; $P=37 \text{ кВт}$ ; 1500 об/мин;

Данный тип фильтрования чаще используется, когда содержание взвешенных веществ очень высокое.

В связи с высоким содержанием взвесей рассмотрим схему с тангенциальным фильтрованием.

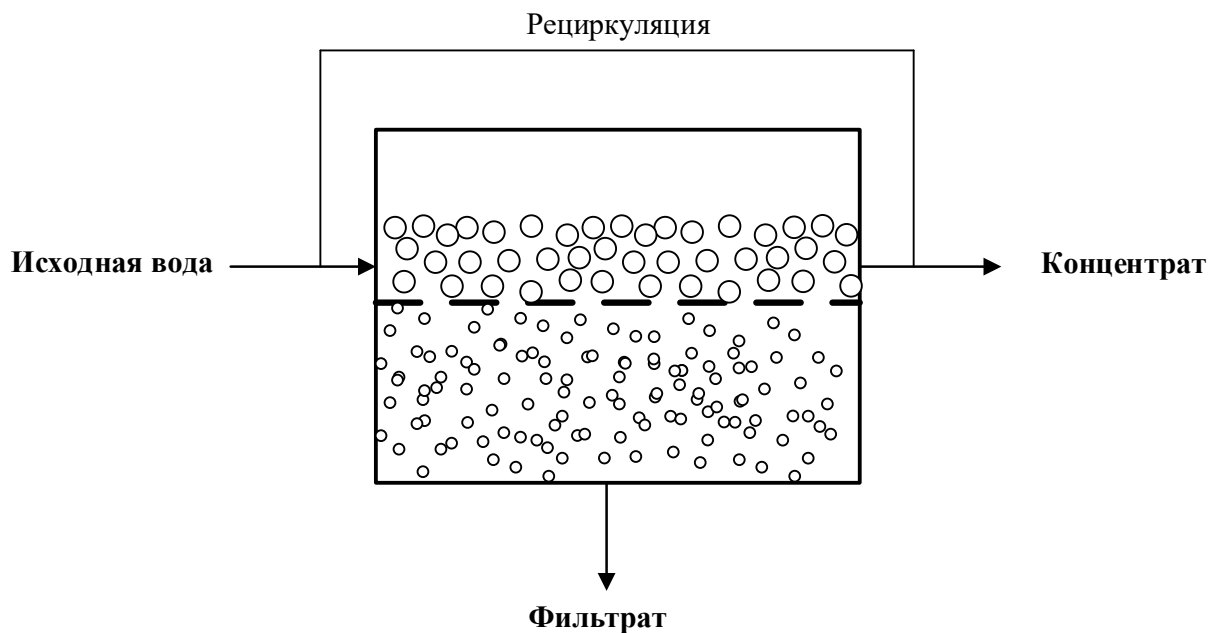
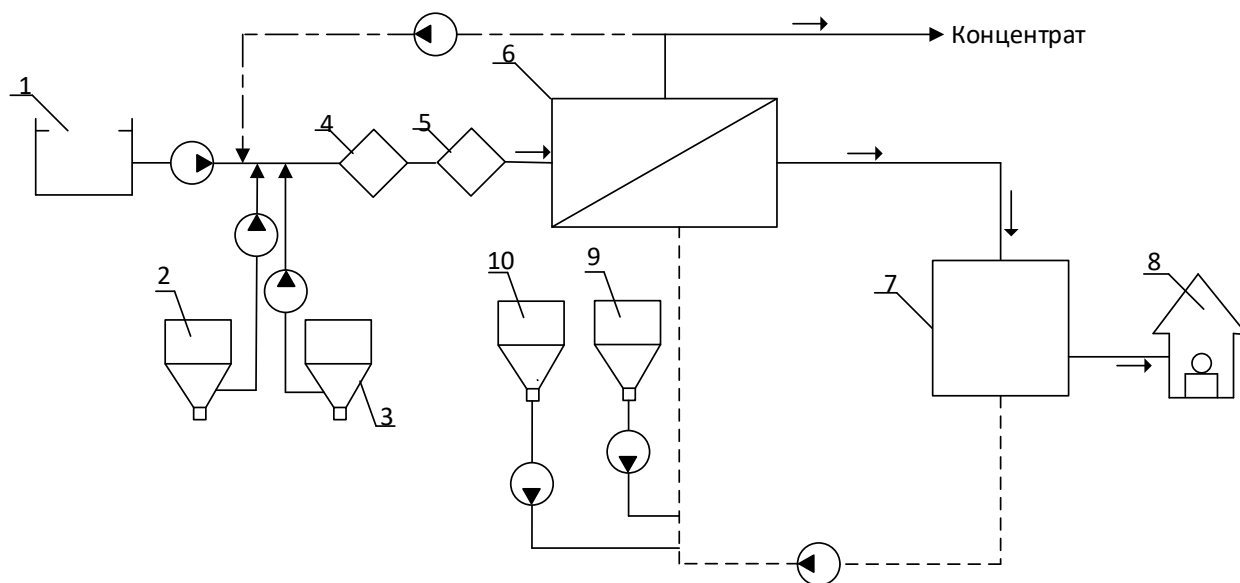


Рисунок 12 – Схема фильтрации с тангенциальным потоком



1 – исходная вода; 2 – мерник раствора коагулянта; 3 – мерник раствора флокулянта; 4 – дисковый фильтр; 5 – фильтр тонкой очистки; 6 – модуль ультраfiltrации; 7 – БОВ; 8 – ТП; 9 – мерник раствора лимонной кислоты; 10 – мерник раствора гипохлорида натрия

Рисунок 13 – Принципиальная схема мембранной очистки

Таблица 8 – Характеристики мембраны Liqui-Flux W20

Тип мембраны	Половолоконная, фильтрация изнутри-наружу
Материал мембраны	Полиэфирсульфон
Наружный / Внутренний диаметр, мм	1,2 / 0,8
Вес, сух., кг	57
Вес, заполненный жидкостью, кг	171
Эффективная площадь поверхности, м <sup>2</sup>	91
Максимальное рабочее давление, кПа	600
Максимальная рабочая температура, °С	40
Режим работы	Тупиковая/ тангенциальная фильтрация
Стандартный удельный поток, фильтрация, м <sup>3</sup> /час	50-150
Стандартный удельный поток, обратная промывка	250
Значение рН	1-13

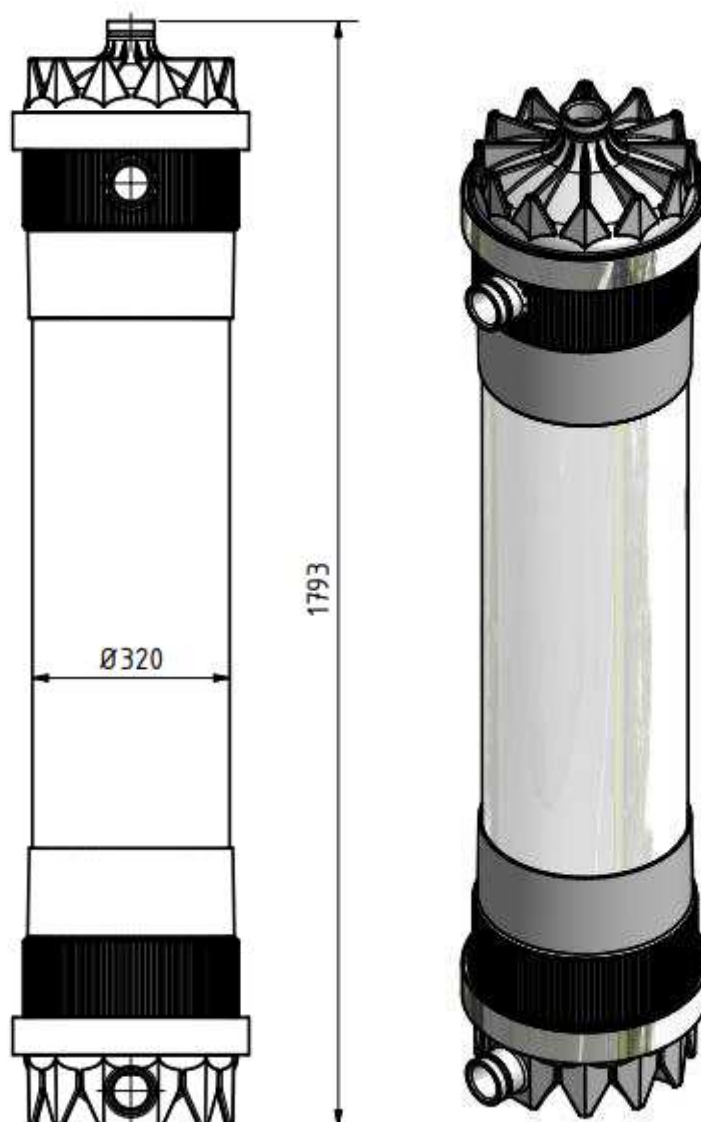


Рисунок 14 – Модуль Liqui-Flux W20

Таблица 9 – Основное оборудование схемы ультрафильтрационной очистки

Наименование оборудования	Аббревиатура	Количество	Тип	Технологическая характеристика
Бак очищенной воды	БОВ	1		$V = 250 \text{ м}^3$ ; $D = 3840 \text{ мм}$ ; $H = 4900 \text{ мм}$
Насос очищенной воды	НОВ	2	Д 315-50а	$Q = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; $P=55 \text{ кВт}$ ; 3000 об/мин;
Насос рециркуляции концентрата	НРК	2	Д 160-112б	$Q = 135 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; $P=55 \text{ кВт}$ ; 3000 об/мин;
Насос дозатор раствора коагулянта	НДРК	2	НД 3М320/16КА	$Q = 352 \text{ л/ч}$ ; $P = 16 \text{ кгс/см}^2$
Мерник раствора флокулянта	МРФ	2		$V = 1 \text{ м}^3$ ; $D = 1264 \text{ мм}$ ; $H = 1100 \text{ мм}$
Насос дозатор раствора флокулянта	НДРФ	2	НД 3М320/16КА	$Q = 352 \text{ л/ч}$ ; $P = 16 \text{ кгс/см}^2$
Самопромывной дисковый фильтр	СДФ	1	ФСМОк-400-350-0,1в	$Q = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; $D = 400 \text{ мм}$
Механический фильтр тонкой очистки	МФТО	1	УФЦ-200М	$Q = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; 1-500 мкм
Насос подачи исходной воды	НПИВ	4	ГраТ-170/40	$Q = 140 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; $P=37 \text{ кВт}$ ; 1500 об/мин;
Насос подачи воды на отмывку	НПВО	2	Д 160-112	$Q = 80 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; $P=15 \text{ кВт}$ ; 1500 об/мин;
Насос дозатор раствора лимонной кислоты	НДРЛК	2	НД 3М320/16КА	$Q = 352 \text{ л/ч}$ ; $P = 16 \text{ кгс/см}^2$
Насос дозатор гипохлорита натрия	НДГН	2	НД 3М320/16КА	$Q = 352 \text{ л/ч}$ ; $P = 16 \text{ кгс/см}^2$
Мерник раствора лимонной кислоты	МРЛК	2		$V = 1 \text{ м}^3$ ; $D = 1264 \text{ мм}$ ; $H = 1100 \text{ мм}$
Мерник раствора гипохлорита натрия	МРГН	2		$V = 1 \text{ м}^3$ ; $D = 1264 \text{ мм}$ ; $H = 1100 \text{ мм}$

#### 4 Экономика

Для реализации предлагаемых схем необходимо приобрести соответствующее оборудование – это баки мерники, различные виды насосов. Необходимо вложить капитальные затраты в реконструкцию действующей схемы оборотной воды топливоподачи.

Таблица 10 – Расчет капитальных затрат на оборудование схемы с осветлителем со взвешенным слоем осадка

№ пункта	Наименование оборудования	Кол-во,шт	Цена за 1 шт	Стоимость, млн руб.
1	Осв,БКВ,НКВ	1	50000000	50000000
2	Насос промывки осветлительных фильтров	2	79731	159462
3	Бак продувочных вод	1	72000	72000
4	Насос продувочных вод	2	12000	24000
5	Насос дозатор раствора коагулянта	2	66400	132800
6	Мерник раствора флокулянта	2	89717	179434
7	Насос дозатор раствора флокулянта	2	66400	132800
Итого:			50700496	

Таблица 11 – Расчет капитальных затрат на оборудование схемы с использованием мембранных модулей

№ пункта	Наименование оборудования	Кол-во,шт	Цена за 1 шт	Стоимость, млн руб.
1	Мембрана	70	120000	8400000
2	Бак очищенной воды	1	1815700	1815700
3	Насос очищенной воды	2	182747	365494
4	Насос рециркуляции концентрата	2	160315	320630
5	Самопромывной дисковый фильтр	1	750000	750000
6	Механический фильтр тонкой очистки	7	423700	2965900
7	Насос подачи воды на отмывку	2	160315	320630
8	Насос дозатор раствора лимонной кислоты	2	66400	132800
9	Насос дозатор раствора гипохлорита натрия	2	66400	132800
10	Насос дозатор раствора коагулянта	2	66400	132800
11	Мерник раствора флокулянта	2	89717	179434
12	Насос дозатор раствора флокулянта	2	66400	132800



## Окончание таблицы 11

13	Мерник раствора лимонной кислоты	2	89717	179434
14	Мерник раствора гипохлорита натрия	2	89717	179434
Итого:		16007856		

Так же необходимы затраты на погрузо-разгрузочные операции, транспортировку, монтажные работы, контрольно-измерительные приборы, арматуру, трубопроводы и постройку здания для размещения оборудования, которые указаны в таблице 12.

Таблица 12 – Дополнительные затраты

№ пункта	Наименование услуги	Схема с осветлителем	Схема с мембранными модулями
1	Транспортные, разгрузочно-погрузочные услуги	2535024,8	655339,4
2	Монтажные работы	50700049,6	1310679
3	КИП, арматура, трубопроводы	50700049,6	1310679
4	Здание	7000000	7000000
Итого:		19675124	11001964

Для эффективной работы схемы требуется подача реагентов, которые будут поставлять на станцию ежегодно раз в квартал. Затраты на реагенты представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Затраты на реагенты и материалы

№ пункта	Реагент	Схема с осветлителем		Схема с мембранными модулями	
		Цена за кг, руб.	Годовая стоимость, руб.	Цена за кг, руб.	Годовая стоимость, руб.
1	Коагулянт	18,33	299145,6	18,33	349003,2
2	Флокулянт	302,55	1391730	302,55	1626206,3
3	Лимонная кислота	-		85,6	2876160
4	Гипохлорит натрия на промывку	-		40,5	51030
5	Гипохлорит натрия на консервацию	-		40,5	139482
6	Затраты на замену мембран			120000	1680000
7	Замена картриджа	-		2000	3360000
Итого:		1690875,6		11201881	

Затраты на исходную воду, руб./м<sup>3</sup>:

$$U_{ИВ} = b \cdot G, (4.1)$$

где  $b$  – стоимость одного метра кубического воды, руб./м<sup>3</sup>;

$G$  – расход оборотной воды в сутки, м<sup>3</sup>/сут;

$$U_{ИВ} = 0,6 \cdot 3300 = 1980 \text{руб./сут.}$$

Амортизационные отчисления начисляются на капитальные вложения с нормой амортизации 6,7% и составят, руб.:

Таблица 14 – Сумма амортизационных отчислений

№	Схема с осветлителем	Схема с мембранными модулями
Амортизационные отчисления	4715166,5 руб.	1809658 руб.

Затраты на текущий ремонт принимаются 10% от капитальных вложений и составят, руб.:

Таблица 15 – Стоимость текущего ремонта

№	Схема с осветлителем	Схема с мембранными модулями
Текущий ремонт	7037562 руб.	2700982 руб.

Расчет себестоимости оборотной воды:

$$S_{хов} = U_{ИВ} + U_{р} + U_{ам} + U_{рем}, (4.2)$$

где  $U_{ИВ}$  – затраты на исходную воду (см. формулу 4.1);

$U_{р}$  – затраты на реагенты (см. таблицу 14);

$U_{ам}$  – амортизационные отчисления (см. таблицу 15);

$U_{рем}$  – затраты на текущий ремонт (см. таблицу 16).

Таблица 16 – Себестоимость очищенной воды с использованием разных схем очистки

№	Схема с осветлителем	Схема с мембранными модулями
Себестоимость	13244584 руб.	15714501 руб.

Доход от основной деятельности принимается как ущерб от недовыработки электрической энергии в летний период для одного блока с учетом себестоимости, руб.:

$$S = (N \cdot 24 \cdot \tau \cdot u \cdot 1000) - S_{\text{хов}}, \quad (4.3)$$

где  $N$  – мощность блока

$\tau$  – количество дней восстановления;

$u$  – стоимость электрической энергии за кВт/ч;

$S_{\text{хов}}$  – себестоимость очищенной воды (см. таблицу 16).

Таблица 17 – Доход от основной деятельности с использованием разных схем очистки

№	Схема с осветлителем	Схема с мембранными модулями
Доход от основной деятельности	1181840216 руб.	1179370299 руб.

Учитывая, что в работе находится минимум 2 блока, то доход составит, руб:

Таблица 18 – Доход от основной деятельности на 2 энергоблока с использованием разных схем очистки

№	Схема с осветлителем	Схема с мембранными модулями
Доход от основной деятельности	2363680432 руб.	2358740598 руб.

Эффективность инвестиционного проекта характеризуется системой экономических показателей, отражающих соотношение связанных с проектом затрат и результатов, и позволяющих судить об экономической привлекательности проекта для его участников, об экономических преимуществах одних проектов над другими.

Налог на прибыль по ставке 20% составит, млн руб.:

$$H_{\text{пр}} = D_{\text{осн}} \cdot 0,2, \quad (4.4)$$

Чистая прибыль, млн руб.:

$$\text{ЧП}_t = D_{\text{осн}} - H_{\text{пр}}, \quad (4.5)$$

Чистый денежный поток, млн руб.:

$$\text{ЧДП}_t = \text{ЧП}_t + U_{\text{ам}}, \quad (4.6)$$

где  $U_{\text{ам}}$  – амортизационные отчисления (см. формулу 4.2)

Чистый денежный поток нарастающим итогом, млн руб.:

$$\text{ЧДПНИ}_t = \text{ЧДПНИ}_{t-1} + \text{ЧДП}_t, \quad (4.7)$$

В нулевой год принимается равным капитальным затратам со знаком минус.

Дисконтированный денежный поток, млн руб.:

$$\text{ДДП}_t = \frac{\text{ЧДП}_t}{(1+r)^t}, (4.8)$$

где  $r$  – норма дисконта принимается равной  $r = 14\%$ .

Дисконтированный денежный поток нарастающим итогом, млн руб.:

$$\text{ДДПНИ}_t = \text{ДДПНИ}_{t-1} + \text{ДДП}_t, (4.9)$$

Жизненный цикл проекта составляет 5 лет. Расчёт показателей эффективности инвестиций в реконструкцию системы очистки оборотной воды топливоподачи представлен в таблицах 19,20.

Чистый дисконтированный доход проекта NPV:

$$\text{NPV} = \frac{\sum_t P_t}{(1+r)^t} - \text{IC}_0, (4.10)$$

где  $\text{IC}_0$  – инвестиции на нулевом шаге;

$P_t$  – годовые доходы.

Внутренняя норма доходности IRR:

$$\text{IRR} = r_1 + \frac{f(r_1)}{f(r_1) - f(r_2)} * (r_2 - r_1), (4.11)$$

Дисконтированный индекс доходности DPI:

$$\text{DPI} = \frac{\text{NPV}}{\left| \sum \frac{\text{IC}_0}{(1+r)^n} \right|} + 1, (4.12)$$

Простой срок окупаемости:

$$\text{PP} = t + \frac{(-\text{ЧДПНИ}_t)}{\text{ЧДП}_{t+1}}, (4.13)$$

Дисконтированный срок окупаемости DPP:

$$\text{DPP} = t + \frac{(-\text{ДДПНИ}_t)}{\text{ДДП}_{t+1}}, (4.14)$$

Таблица 19 – Расчёт показателей эффективности инвестиций в реконструкцию системы очистки оборотной воды топливоподачи со схемой очистки с использованием осветлителя

Показатели	Инвестиционная деятельность					
	0	1	2	3	4	5
Денежный поток от инвестиционной деятельности, Квл	-70375620,00					
Стоимость фондов на начало года, Фнг		70375620,00	65861453,50	61347287,00	56833120,50	52318954,00
Стоимость фондов на конец года, Фкг		65861453,50	61347287,00	56833120,50	52318954,00	47804787,50
Среднегодовая стоимость основных производственных фондов, Фср.г		68118536,75	63604370,25	59090203,75	54576037,25	50061870,75
Амортизационные отчисления, Уам		4514166,50	4514166,50	4514166,50	4514166,50	4514166,50
Налог на имущество, Ним		1498607,809	1399296,146	1299984,483	1200672,82	1101361,157
Затраты на реагенты		1690875,6	1690875,6	1690875,6	1690875,6	1690875,6
Текущий ремонт		7037562	7037562	7037562	7037562	7037562
Стоимость исходной воды		1980				
Себестоимость		13244584,10	13242604,10	13242604,10	13242604,10	13242604,10
Доход от основной деятельности, Д		1181840216	1181842196	1181842196	1181842196	1181842196
Налогооблагаемая прибыль, НОП		1180341608	1180442900	1180542211	1180641523	1180740835
Налог на прибыль, Нпр		236068321,6	236088580	236108442,3	236128304,6	236148166,9
Показатели эффективности ИП						
чистый денежный поток, ЧДП(t)		944273286,5	944354319,8	944433769,1	944513218,5	944592667,8
Чистый денежный поток нарастающий итогом, ЧДПНИ(t)	-70375620,00	948787452,97	948868486,30	948947935,63	949027384,96	949106834,29
Дисконтированный денежный поток, ДДП(t)	-70375620,00	878411832,97	1827280319,28	2776228254,91	3725255639,88	4674362474,17
Дисконтированный денежный поток нарастающим итогом, ДДПНИ(t)	-70375620,00	948787453	948868486,3	948947935,6	949027385	949106834,3
NPV	3 526 825 033,86 Р					
IRR	13%					
DPI	2,37					
PP	0,7					
DPP	0,8					

Таблица 20 – Расчёт показателей эффективности инвестиций в реконструкцию системы очистки оборотной воды топливоподачи со схемой очистки с использованием мембранных модулей

Показатели	Инвестиционная деятельность					
	0	1	2	3	4	5
Денежный поток от инвестиционной деятельности, Квл	-27009820,00					
Стоимость фондов на начало года, Фнг		27009820,00	25200162,00	23591504,00	21982846,00	20374188,00
Стоимость фондов на конец года, Фкг		25200162,00	23591504,00	21982846,00	20374188,00	18765530,00
Среднегодовая стоимость основных производственных фондов, Фср.г		26104991	24395833	22787175	21178517	19569859
Амортизационные отчисления, Уам		1809658,00	1608658,00	1608658,00	1608658,00	1608658,00
Налог на имущество, Ним		574309,802	536708,326	501317,85	465927,374	430536,898
Затраты на реагенты		11201881	11201881	11201881	11201881	11201881
Текущий ремонт		2700982	2700982	2700982	2700982	2700982
Стоимость исходной воды		1980				
Себестоимость		15714501,00	15511521,00	15511521,00	15511521,00	15511521,00
Доход от основной деятельности, Д		1179370299	1179573279	1179573279	1179573279	1179573279
Налогооблагаемая прибыль, НОП		1178795989	1179036571	1179071961	1179107352	1179142742
Налог на прибыль, Нпр		235759197,8	235807314,1	235814392,2	235821470,3	235828548,4
Показатели эффективности ИП						
чистый денежный поток, ЧДП(t)		943036791,4	943229256,5	943257568,9	943285881,3	943314193,7
Чистый денежный поток нарастающий итогом, ЧДПНИ(t)	-27009820,00	944846449,36	944837914,54	944866226,92	944894539,30	944922851,68
Дисконтированный денежный поток, ДДП(t)	-27009820,00	917836629,36	1862674543,90	2807540770,82	3752435310,12	4697358161,80
Дисконтированный денежный поток нарастающим итогом, ДДПНИ(t)	-27009820,00	944846449,4	944837914,5	944866226,9	944894539,3	944922851,7
NPV	3 554 789 690,86 Р					
IRR	15%					
DPI	2,61					
PP	0,7					
DPP	0,8					

По расчетам эффективности видно, что обе схемы для реконструкции окупаются в первый год, что не является наглядным критерием для выбора схемы очистки оборотной воды, поэтому будем сравнивать схемы по эксплуатационным затратам в разрезе 10 лет (см. таблицу 21).

Таблица 21 – Эксплуатационные затраты

Схема очистки с использованием осветлителя										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Капитальные затраты	70375620									
Затраты на реагенты	1690876	1690876	1690876	1690876	1690876	1690876	1690876	1690876	1690876	1690876
Итого:					87284376					
Схема очистки с использованием мембранных модулей										
Капитальные затраты	27009820									
Затраты на реагенты	11201881	11201881	11201881	11201881	11201881	11201881	11201881	11201881	11201881	11201881
Итого:					139028630					

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На станции Березовская ГРЭС оборотная вода топливоподачи содержит большое количество взвешенных веществ, что негативно сказывается на работе цеха и его оборудовании. В данной бакалаврской работе представлена схема реконструкции системы очистки оборотной воды топливоподачи.

На основании представленных данных со станции, была обоснована актуальность основной проблемы эксплуатации оборудования топливо-транспортного цеха, а также его эстетического вида. Выявлены причины повышения уровня взрывопожаробезопасности.

После изучения литературного материала были рассмотрены наиболее оптимальные пути решения данной проблемы. Выбраны схемы для реконструкции системы очистки оборотного водоснабжения топливоподачи такие как: схема очистки с осветлителем со взвешенным слоем осадка, схема очистки с мембранными модулями.

Оба варианта схем предполагают использование реагентов для эффективной очистки, в результате расчетов были выбраны марки коагулянта и флокулянта Аква-Аурат-18 и Праестол 857 ВС соответственно. Определены годовые расходы реагентов, выбрано подходящее оборудование для приготовления растворов.

Расчет экономического эффекта от внедрения схем показал, что срок окупаемости каждой из двух схем составляет около года, а также получился высокий чистый экономический эффект. В результате сравнения эксплуатационных затрат выбрана схема очистки с осветлителем со взвешенным слоем осадка.

В итоге были доказаны поставленные цели при использовании данной реконструкции, так как на выходе из осветлителя получаем до 10 мг/дм<sup>3</sup> взвешенных веществ, что решает наши проблемы.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Беляев, Д. С. Методы и сооружения для очистки промышленных сточных вод [Электронный ресурс]. – URL: [http://pnu.edu.ru/media/filer\\_public/2013/05/21/ochistka-sv\\_posobie.pdf](http://pnu.edu.ru/media/filer_public/2013/05/21/ochistka-sv_posobie.pdf)
2. Колесников, В. А. Экология и ресурсосбережение в электрохимических производствах. Механические и физико-химические методы очистки промывных и сточных вод : учеб. пособие/ В. А. Колесников, В. И. Ильин. – М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2004. – 220 с.
3. Дытнерский, Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии : Учебник для студентов химико-технол. специальностей вузов. Ч. 1:45 Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты / Ю. И. Дытнерский. - 3-е изд. - М. : Химия, 2002. - 400 с. : ил. ; 21 см. - Библиогр. : с. 380-381. - Предм. указ. : с. 389-400.
4. Кандалов, М. С. Совершенствование действующего технологического процесса очистки сточных вод гальванического производства АО «АПЗ им. Пландина» // Химическая технология. - 2009. - № 10. - с. 623-631.
5. Свитцов, А. А. Основы проектирования производств, использующих мембранное разделение : учебное пособие. / А. А. Свитцов. – М. РХТУ им. Менделеева, 2013. – 219с. [Электронный ресурс]. – URL: <http://membranemsk.ru/Osnoviproektirovania.pdf>
6. Павлов, Д. В. Обратное водоснабжение промышленных предприятий // Сантехника : науч. изд. / Д. В. Павлов, С. О. Вараксин, В. А. Колесников. – Москва, 2010.
7. Электронный каталог ультрафильтрационные модули серии 3М™ Liqui-Flux™[Электронный ресурс]. – URL: [https://www.3m.com/3M/en\\_US/water-quality-us/applications/industrial-water-filtration/liquifluxwater/](https://www.3m.com/3M/en_US/water-quality-us/applications/industrial-water-filtration/liquifluxwater/)
8. Белан, Ф. И. Водоподготовка (расчеты, примеры, задачи). – Москва : Энергия, 1980. – 256 с.
9. Беликов, С. Е. Водоподготовка :Справочник / Под ред. д.т.н., действительного члена Академии промышленной экологии С. Е. Беликова. – М. : Аква-Терм, 2007. – 240 с.
10. Гужулев, Э. В. Водоподготовка и вводно-химические режимы в теплоэнергетике : учеб. пособие / Э. П. Гужулев, В. В. Шалай, В. И. Гриценко, М. А. Таран. – Омск : ОмГТУ, 2005. – 384 с.
11. Пантелеев, А. А. Технологии мембранного разделения в промышленной водоподготовке / А. А. Пантелеев, Б. Е. Рябчиков, О. В. Хоружий, С. Л. Громов, А. Р. Сидоров. – М. : Дели плюс, 2012. – 429с.

12. Журба, М. Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений : уч. пособие / М. Г. Журба, Л. И. Соколов, Ж. М. Говорова.– М.: АСВ, 2004. – 496 с.

13. Фрог, Б. Н. Водоподготовка : уч. пособие для вузов. / Б. Н. Фрог, А. П. Левченко. – М. : МГУ, 1996. – 680 с.

14. Гудков, А. Г. Механическая очистка сточных вод : уч. пособие / А. Г. Гудков, Б. Н. Фрог. – Вологда : ВоГТУ, 2003. – 152с.

15. ГОСТ Рд 153-34.1-09.456-00 методика расчета себестоимости воды, вырабатываемой на водоподготовительных установках ТЭС. – Введ. 01.12.2000. – Москва : СПО ОРГРЭС, 2000. – 4 с.

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт

институт

Тепловые электрические станции

кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой



подпись

Е.А. Бойко

инициалы, фамилия

«22»

06

2021г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника

код – наименование направления

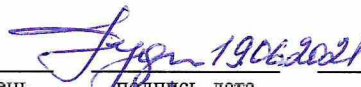
Проект реконструкции системы очистки оборотной воды топливоподачи  
Березовской ГРЭС

тема

Руководитель

доцент, К.Т.Н

должность, ученая степень



подпись, дата

Т.М. Руденко

инициалы, фамилия

Выпускник



подпись, дата

Е.М. Стяжкова

инициалы, фамилия

Тех. контроль



подпись, дата

Е.А. Бойко

инициалы, фамилия

Нормоконтролер



подпись, дата

П.В. Шишмарев

инициалы, фамилия

Красноярск 2021