федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Тольяттинский государственный университет

ИНСТИТУТ ХИМИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ

Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение

20.03.01 Техносферная безопасность

профиль «Инженерная защита окружающей среды»

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: **Внедрение установки обратного осмоса на очистных сооружениях ОАО «Тольяттиазот»**

Студент(ка) А.В. Кравцов _____
(И.О. Фамилия) (личная подпись)

Руководитель М.В. Кравцова _____
(И.О. Фамилия) (личная подпись)

Допустить к защите
Зав. кафедрой
«Рациональное
природопользование
и ресурсосбережение» к.п.н., М.В. Кравцова _____
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) (личная подпись)
«_____»_____20_____г.

Тольятти 2016

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ ХИМИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ

Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой «РПиР»
_____ М.В. Кравцова
(подпись) (И.О. Фамилия)
«____»_____20___г.

ЗАДАНИЕ
на бакалаврскую работу

Студент: Кравцов Александр Валериевич

1. Тема: Внедрение установки обратного осмоса на очистных сооружениях ОАО «Тольяттиазот»

2. Срок сдачи студентом законченной бакалаврской работы 10 июня 2016г.

3. Исходные данные к бакалаврской работе:

3.1 Регламент технологического процесса очистки сточных вод на очистных сооружениях ОАО «Тольяттиазот».

4. Содержание бакалаврской работы:

4.1 Анализ работы очистных сооружений.

4.2 Анализ сбросов сточных вод предприятия и влияние на окружающую среду.

4.3 Расчет установки обратного осмоса и обратноосмотической мембраны.

5. Дата выдачи задания «16» марта 2016г.

Руководитель бакалаврской работы _____ М.В. Кравцова
(подпись) (И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению _____ А.В. Кравцов
(подпись) (И.О. Фамилия)

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ ХИМИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ

Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой «РПиР»
_____ М.В. Кравцова
(подпись) (И.О. Фамилия)
«____»_____20___г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН
бакалаврской работы

Студента: Кравцова Александра Валериевича

по теме: Внедрение установки обратного осмоса на очистных сооружениях ОАО «Тольяттиазот»

Наименование раздела работы	**Плановый срок выполнения раздела**	**Фактический срок выполнения раздела**	**Отметка о выполнении**	**Подпись руководителя**
Введение	24.03.2016			
Анализ качества стоков на очистных сооружениях ОАО «Тольяттиазот»	10.04.2016			
Совершенствование очистных сооружений ОАО «Тольяттиазот»	25.05.2016			

Руководитель бакалаврской работы _____ М.В. Кравцова
(подпись) (И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению _____ А.В. Кравцов
(подпись) (И.О. Фамилия)

АННОТАЦИЯ

Бакалаврскую работу выполнил: Кравцов А.В.

Тема бакалаврской работы: Внедрение установки обратного осмоса на очистных сооружениях ОАО «Тольяттиазот»

Научный руководитель: Кравцова М.В.

Бакалаврская работа изложена на 57 листах, включает 8 таблиц, 12 рисунков, 60 литературных источников.

Целью работы являются снижение негативного воздействия на окружающую среду на основе уменьшения количества сбросов в Саратовское водохранилище за счет внедрения установки обратного осмоса на очистных сооружениях ОАО «Тольяттиазот».

Актуальность данной темы определена необходимостью снижения количества сбросов загрязняющих веществ в Саратовское водохранилище и потребностью рационального использования ресурсов, в частности, возврата части стоков для вторичного использования для производственных нужд.

В данной работе исследовалась технологическая схема очистных сооружений ОАО «Тольяттиазот». Бакалаврская работа состоит из введения, двух глав, заключения и списка использованных источников.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цель и задачи исследования.

Первая глава посвящена исследованию теоретического и практического исследования работы очистных сооружений ОАО «Тольяттиазот», загрязненность стоков, выявлены приоритетные загрязнители, их воздействие на окружающую среду и найдено необходимое оборудование, для их устранения. Во второй главе проведен расчет установки обратного осмоса, проведен экономический расчет эффективности предлагаемой технологии по совершенствованию процесса очистки. Заключение содержит основные выводы и предложения, направленные на повышение эффективности производственного процесса.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ КАЧЕСТВА СТОКОВ НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ ОАО «ТОЛЬЯТТИАЗОТ»	8
1.1 Характеристика водоотведения сточных вод г. Тольятти	8
1.2 Характеристика очистных сооружений предприятия ОАО «Тольяттиазот»	9
1.3 Анализ качества очистки стоков на очистных сооружениях ОАО «Тольяттиазот»	20
1.4 Оценка воздействия на окружающую среду приоритетных загрязняющих веществ	25
1.4.1 Интегральная оценка риска загрязнения водоема	30
ГЛАВА 2. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОАО «ТОЛЬЯТТИАЗОТ»	35
2.1 Обратный осмос и мембрана, общие сведения	35
2.2 Расчет мембраны и установки обратного осмоса	38
2.2.1 Выбор рабочей температуры и перепада давления через мембрану	38
2.2.2 Выбор мембраны	39
2.3 Выбор аппарата и основных характеристик	41
2.3.1 Выбор аппаратов и основных характеристик	42
2.4 Расчет селективности мембран	45
2.4.1 Уточненный расчет поверхности мембран	47
2.5 Расчет гидравлического сопротивления	48
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	51
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	52

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. На современном этапе развития химической промышленности и использования ресурса воды в качестве технической жидкости, создается риск загрязнения воды, используемой населением в качестве питьевой, так как сформированные на техногенных территориях сточные воды загрязнены опасными для здоровья человека веществами.

Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов в настоящее время – одна из обсуждаемых проблем современности. Организация очистки сточных вод на очистных сооружениях промышленных предприятиях до нормативных показателей сброса загрязняющих веществ в водоем является одной из основных задач современного производства.

Приоритетными направлениями в решении проблемы охраны Куйбышевского и Саратовского водохранилищ являются сокращение сбросов сточных вод и повышение качества их очистки. Качество очистки сточных вод нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности не соответствуют нормативной очистке: по нефтепродуктам; ХПК; металлам. Приоритетными направлениями в решении проблемы охраны водных ресурсов является сокращение сбросов сточных вод в водоемы и повышение качества очистки сточных вод. Обязательные платы за нормативный сброс и плата за сброс загрязняющих веществ, сверх установленных лимитов возрастет к 2018 году в 15 раз.

Целью работы являются снижение негативного воздействия на окружающую среду на основе уменьшения количества сбросов в Саратовское водохранилище за счет внедрения установки обратного осмоса на очистных сооружениях ОАО «Тольяттиазот».

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ качества сточных вод сбрасываемы с очистных сооружений ОАО «Тольяттиазот» в Саратовское водохранилище.

2. Рассчитать установку обратного осмоса для возврата части стоков для вторичного использования на предприятие.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ КАЧЕСТВА СТОКОВ НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ ОАО «ТОЛЬЯТТИАЗОТ»

1.1 Характеристика водоотведения сточных вод г. Тольятти

В городском округе Тольятти имеются производства, осуществляющие очистку сточных вод промышленных предприятий и жилищно-коммунальных хозяйства. К ним относятся очистные сооружения: ООО«АВТОГРАД-ВОДОКАНАЛ», ОАО «Тольяттиазот», ОАО «Тольяттикаучук». После очистки стоков на очистных сооружениях осуществляется их сброс в Саратовское водохранилище. Балансовая схема водоотведения сточных вод г. о. Тольятти представлена на рисунке 1.

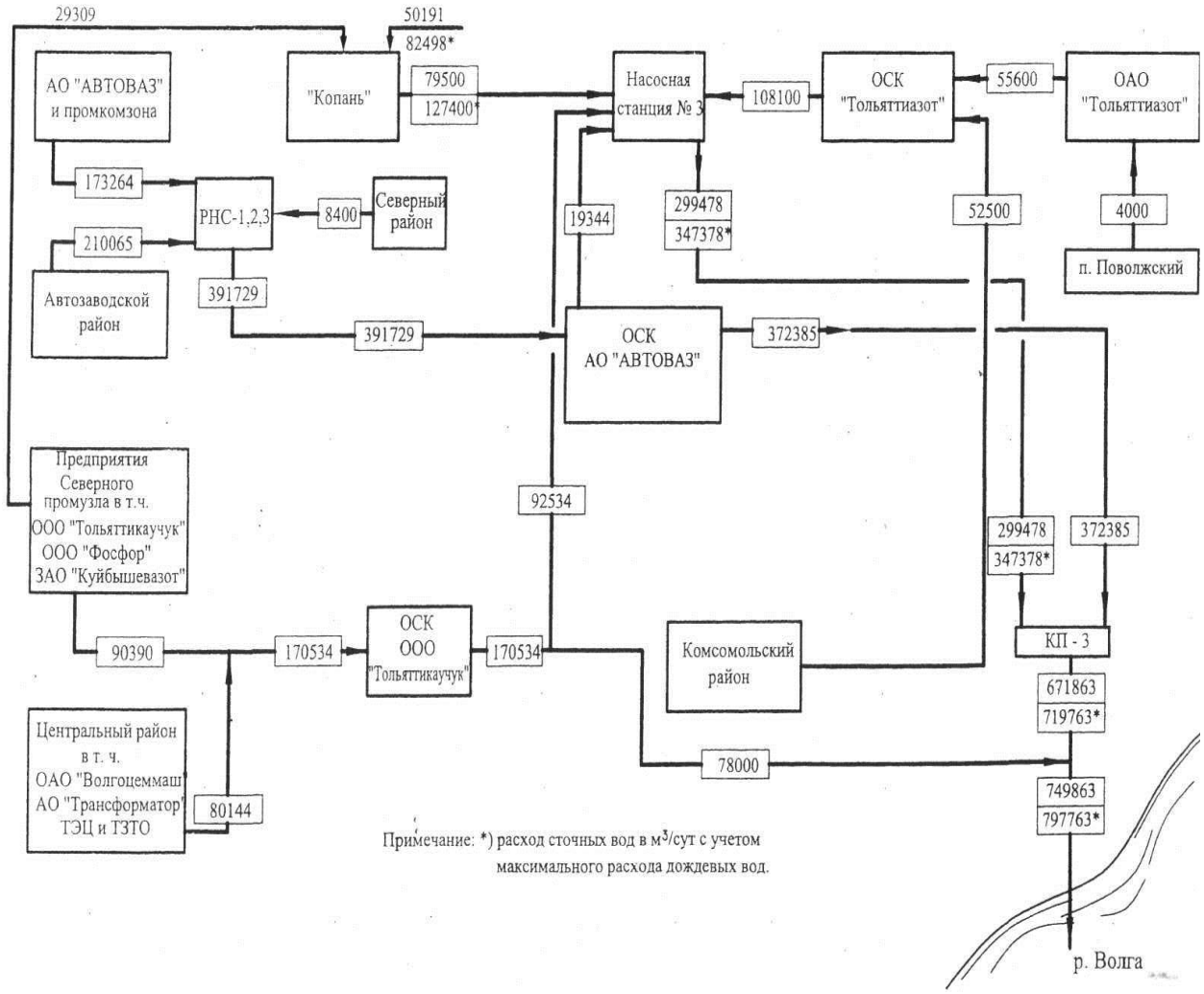


Рисунок 1 - Балансовая схема водоотведения сточных вод г. Тольятти

На схеме представлены общие потоки водоотведения в городском округе Тольятти с указанием объемов сбросов в Саратовское водохранилище.

1.2 Характеристика очистных сооружений предприятия ОАО«Тольяттиазот»

ОАО«Тольяттиазот» располагается в Северном промузле г.о.Тольятти, по адресу: Самарская область, г. Тольятти Поволжское шоссе, 32 в. (рис.2). Полное наименование производства: цех нейтрализации и очистки промстоков. Проектная производительность очистных сооружений - 104000 $м^3$/сут. Производительность за 2007 год - 79482 $м^3$/сут.

Рисунок 2 - Расположение очистных сооружений ОАО «Тольяттиазот»

Принципиальная схема водоотведения централизованной системы водоотведения ОАО «Тольяттиазот» представлена на рисунке 3. В целом на биологическую очистку поступают сточные воды с промплощадки ОАО«Тольяттиазот», содержащие минеральные и органические загрязнения и сточные воды Комсомольского района. Расход сточных вод указан в таблице 1. На очистные сооружения ОАО «Тольяттиазот» поступают сточные воды непосредственно с самого предприятия, стоки ООО «Волжские коммунальные системы» и ЗАО «СВ Поволжский», после биологической очистки стоков поступают сточные воды ЗАО «Тольяттисинтез».

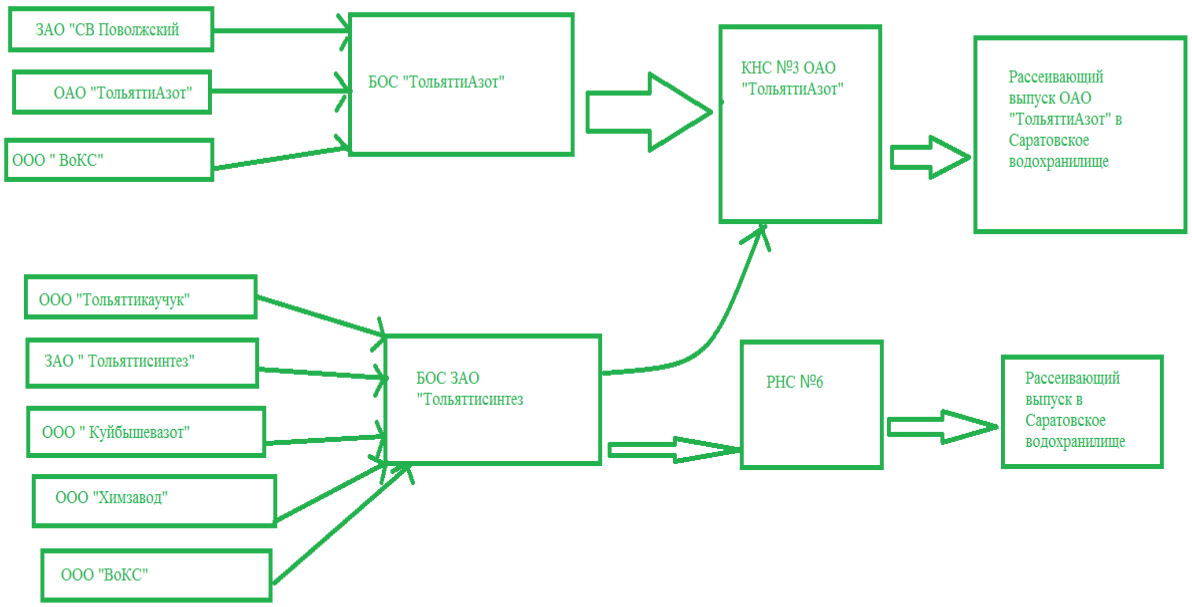


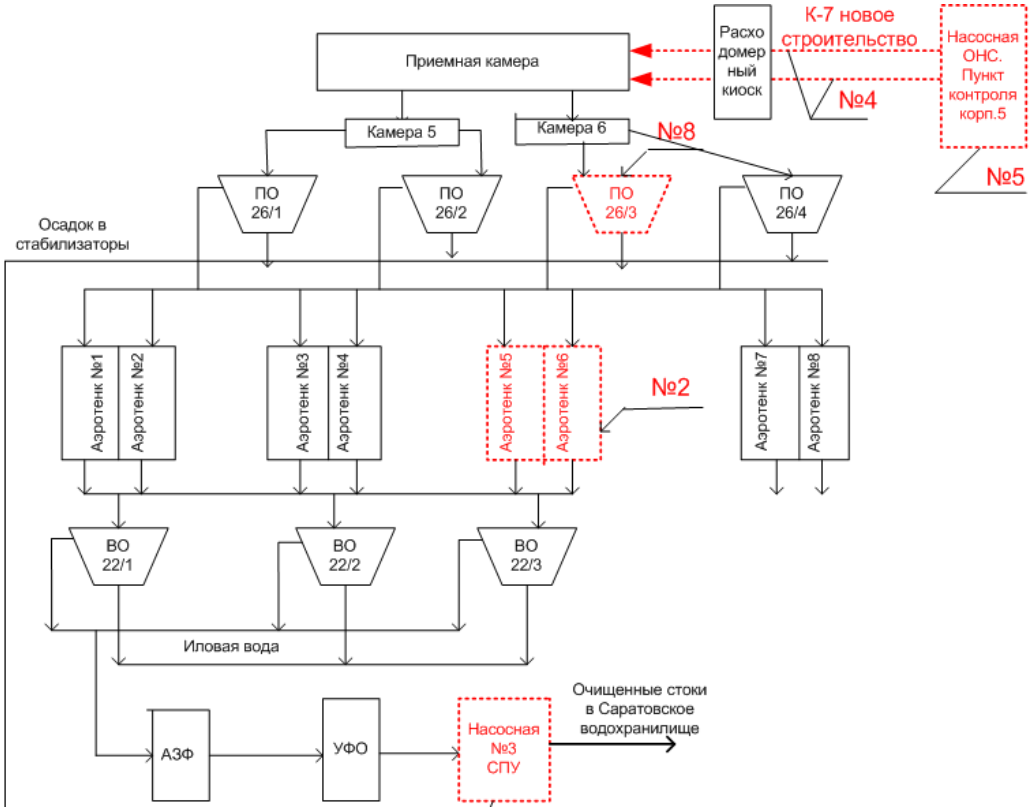
Рисунок 3 - Принципиальная схема водоотведения централизованной системы водоотведения

Исходя из рисунка 3, видим, что после биологической очистки воды ОАО «Тольяттиазот» перемешиваются с водами ЗАО «Тольяттисинтез» и далее сбрасывается в Саратовское водохранилище. Хочется отметить, что стоки ЗАО «Тольяттисинтез» более загрязненные, далее будем рассматривать разделение стоков.

Таблица 1 - Характеристика водоотведения очистных сооружений ОАО «Тольяттиазот» в цехе №15

№	Наименование	Стоки ОАО «Тольятти-азот»	Смешанный сток Азотремма-ша и хозбы-товых сто-ков мелких предприятий	Сточные воды п. Поволж-ский	Сточные воды Комсомоль-ского р-на	Итого сточ-ных вод на биологиче-скую очист-ку
1	2	3	5	6	7	8
1.	Всего $м^3$/сут	37958	998	2725	37801	79482
2.	Производственные сточные воды	34964	829			
3.	Бытовые сточные воды	2993	169			

Схема очистных сооружений ОАО «Тольяттиазот» изображена на рисунке 4 и 5.



ПО - первичный отстойник, ВО - вторичный отстойник,

УФО - ультрафиолетовая очистка

Рисунок 4 - Схема очистных сооружений ОАО «Тольяттиазот»

Система очистки сточных вод на очистных сооружений ОАО «Тольяттиазот» включает:

- нейтрализацию сточных вод с минеральными загрязнениями;

- механическую и биологическую очистку сточных вод с органическими и минеральными загрязнениями;

- доочистку сточных вод на аэрируемых зернистых фильтрах;

- ультрафиолетовое обеззараживание очищенных сточных вод, обеззараживание раствором гипохлорита натрия;

- механическое обезвоживание уплотненной смеси сброженного, сырого осадка и избыточного ила на установке центрифугирования;

- складирование уплотненного осадка на иловых площадках для естественного подсушивания и временного хранения.

Как видно из рисунка 5, на очистные сооружения ОАО «Тольяттиазот» поступают стоки не только со всех цехов данного производства, но и сточные воды Комсомольского района, и стоки с площадки ОСК. Исходя из состава загрязнений сточных вод и схемы их очистки на предприятии предусматриваются следующие разделенные системы канализации:

- производственных стоков с органическими загрязнениями;
- производственных стоков с минеральными загрязнениями;
- промливневых стоков;
- хозбытовых сточных вод.

Производственные сточные воды, содержащие загрязнения в количествах превышающих допустимые для биологических очистных сооружений, на выпуске из цехов проходят локальную очистку.

Все производственные сточные воды с площадки завода направляются на узел контроля и подготовки сточных вод.

Далее стоки проходят ряд очисток в следующей последовательности: механическую, биологическую и поступают на ультрафиолетовую очистку, для обеззараживания. После первичных отстойников, стоки разделяются, первая часть уходит на аэробные стабилизаторы, затем проходит через иллоуплотнители и подается в камеры биологической очистки. Вторая часть стоков, проходя через аэротенки смесители попадает во вторичные отстойники, затем проходя через аэрируемые зернистые фильтры, после чего подается на обеззараживание, с помощью ультрафиолетовой очистки и затем в камеры биологической очистки, а далее смешивается со стоками, прибывающими на очистные сооружения ОАО «Тольяттиазот» после биологической очистки, для сброса в Саратовское водохранилище.

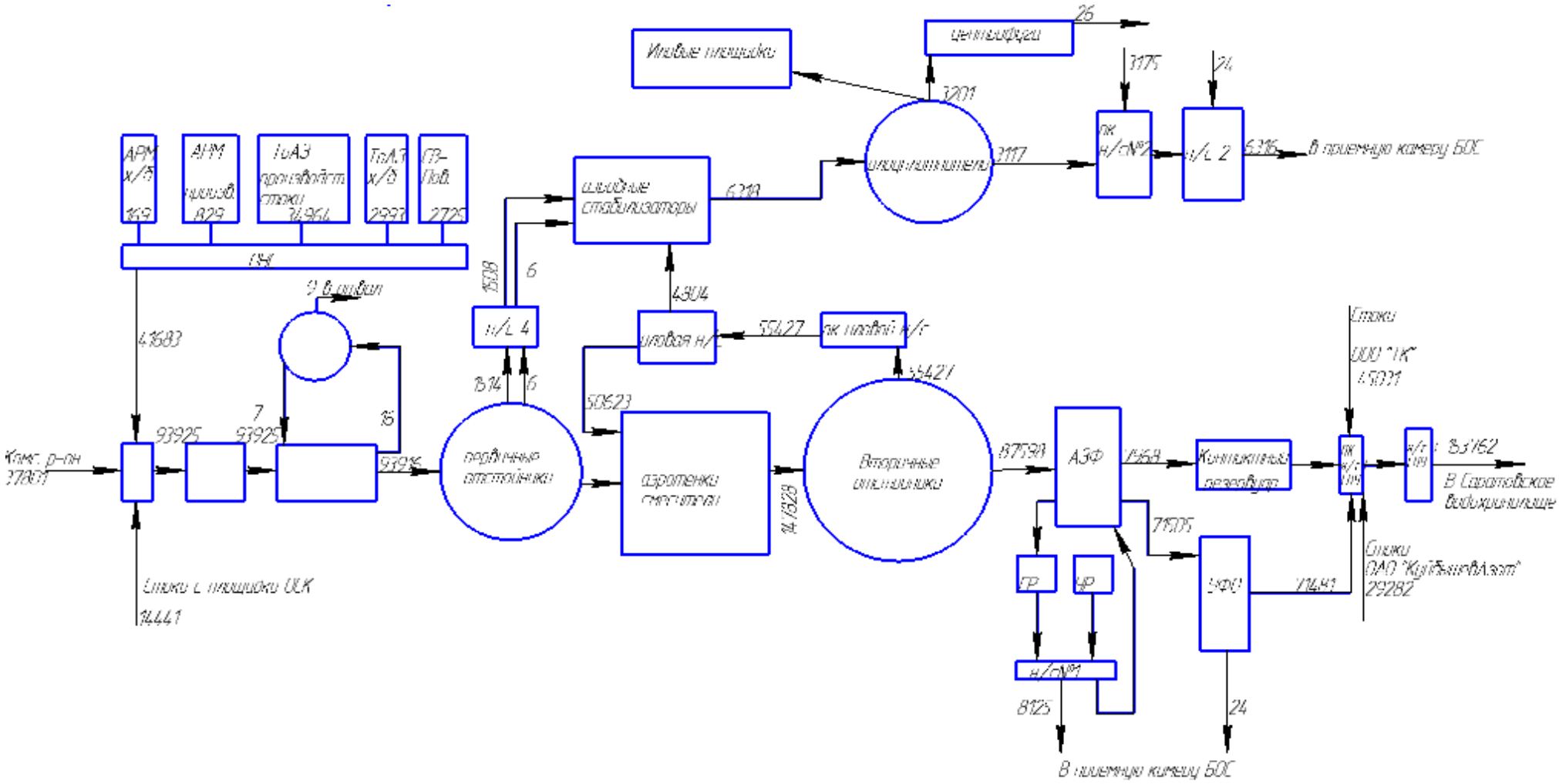


Рисунок 5 - Схема потоков на очистных сооружениях ОАО «Тольяттиазот»

Сточные воды с минеральными загрязнениями от установок деминерализации, химводоочистки речной воды производств аммиака и карбамида по самотечному коллектору поступают в три барьерные емкости, часть потока заведена в ливневую емкость. Работа емкости предусмотрена по следующей схеме: наполнение, лабораторный контроль, выпуск сточных вод. Из барьерных емкостей сточные воды по самотечному коллектору направляются в приемный резервуар №1 сточных вод объединенной насосной станции. Затем из приемного резервуара №1 насосами через перемычку подается в коллектор органических стоков и смешиваясь с ними поступают в приемную камеру очистных сооружений.

Стоки с органическими загрязнениями производств аммиака, карбамида, метанола по самотечному коллектору поступают в аванкамеры, затем перепускаются в приемный резервуар. Работа аванкамер осуществляется по следующей схеме: наполнение, лабораторный контроль, выпуск стоков. При неудовлетворительных анализах сточные воды с органическими загрязнениями перепускаются в резервуары-накопители (две аварийные емкости), а при их заполнении насосами перекачиваются в промывные.

Промывные сточные воды производств поступают в аванкамеры, затем перепускаются в аварийные камеры, откачиваются в промывные и подаются малым расходом во 2-ую приемную камеру.

Дождевые воды с площадки завода отводятся в ливневую емкость, оттуда перепускаются в приемный резервуар №2 объединенной насосной станции. При превышении наполнения емкости, дождевые воды сбрасываются через ливневую камеру в балку. Из приемного резервуара №2 дождевые сточные воды с органическими загрязнениями, поступающие из аванкамер и промывных емкостей, центробежными насосами объединенной насосной станции, перекачиваются в приемную камеру очистных сооружений.

Хоз-фекальные сточные воды с площадок завода и п. Поволжский**,** пройдя решетки-дробилки, поступают в приемный резервуар №3, где смеши-

ваются с стоками органическими загрязнениями. Часть стока п.Поволжского может поступать в приемный резервуар №1. Из приемного резервуара №3 бытовые и аварийные сточные воды насосами объединенной насосной станции, смешиваясь в коллекторе со стоками с органическими и минеральными загрязнениями, перекачиваются в приемную камеру очистных сооружений.

Откачка химзагрязненных сточных вод с узла контроля на очистные сооружения производится по двум напорным коллекторам. Сооружения механической очистки предназначены для выделения из сточных вод грубых примесей, песка и значительного количества взвешенных веществ.

Сточные воды ОАО «Тольяттиазот» от объединенной насосной станции узла контроля и подготовки сточных вод и сточные воды Комсомольского района по трубопроводам поступают в приемную камеру. В приемную камеру поступают также сточные воды от насосной станции N 2 по трубопроводу К-24,промывные сточные воды от сооружений доочистки и вторичных отстойников, перекачиваемые насосной станцией N1 по трубопроводу К-21 поступают в лоток после решеток-дробилок. Из приемной камеры N16 смешанные сточные воды по лоткам поступают в камеры решеток-дробилок КРД-600 и попадают на вращающиеся решетки-барабаны.

Очищенные от крупных взвесей сточные воды из решеток-дробилок направляются по трубопроводу в распределительный канал аэрируемых песколовок. В распределительном и отводящем канале песколовок установлены щитовые затворы.

Песок из пескового лотка при помощи системы гидросмыва, расположенной на дне пескового лотка, периодически смывается водой в песковый бункер, откуда гидроэлеватором откачивается по пульпопроводу в бункера для обезвоживания песка поз.27/1,2. Обезвоженный песок по мере накопления выгружается из бункеров через щитовые затворы в автомашины и вывозится в отвал, а осветленная вода из бункеров по трубопроводу возвращается в песколовку или же по трубопроводу в жиросборники.

Вода для системы гидросмыва и на гидроэлеваторы подается из сети производственной воды. Опорожнение песколовок производится гидроэлеваторам.

Сточные воды из аэрируемых песколовок через распределительные камеры К-4,К-5,К-6 поступают в центральные распределительные устройства первичных радиальных отстойников поз.1,2,3,4.

В процессе движения сточных вод от центрального распредустройства первичного устройства к кольцевому водосборному лотку из сточных вод осаждаются взвешенные вещества. Осадок, выпавший на дно отстойника, сгребается илоскребом в центральный приямок отстойника, откуда насосами насосной станции N4 откачивается в аэробные стабилизаторы для дальнейшей обработки осадка. Влажность удаляемого осадка из отстойника составляет 93-94%. Осветленные сточные воды через водослив собираются в кольцевом водосборном лотке отстойника и самотеком направляются по лотку в аэротенки для биологической очистки. Вещества, всплывающие на водную поверхность отстойника, удаляются специальным устройством, состоящем из полупогружной доски и скребка, которые вращаются вместе с лотком илоскреба в периодически погружающийся бункер, из которого всплывающие вещества вместе с некоторым количеством воды поступают в жиросборник. Из жиросборника всплывающие вещества перекачиваются насосами насосной станции N4 в аэробные стабилизаторы.

Сооружения биологической очистки сточных вод предназначены для очистки от органических и неорганических загрязнений биологическим методом в аэробных условиях в аэротенках - смесителях с последующим отделением активного ила от очищенной воды во вторичных отстойниках. В состав входит: аэротенк-секция поз.22/1-22/8 – 8 шт; вторичный радиальный отстойник поз.1/1, 2/1, 3/1;иловые камеры вторичных отстойников – 3 шт; камеры переключения активного ила К-7, К-8 – 2 шт; лотки, трубопроводы, запорная арматура и приборы КИПиА; Иловая насосная станция.

После вторичных отстойников очищенная вода самотеком поступает в камеру К–9 из камеры К–9 по двум трубопроводам К-22 поступает в корпус аэрируемых зернистых фильтров. По разводным трубопроводам диаметром вода подается на фильтры, представляющие собой открытые железобетонные резервуары площадью 9х9 м, загруженные гравием и крупнозернистым кварцевым песком. Вода подается сверху и, проходя слой фильтрующей загрузки, очищается. Отфильтрованная вода отводится через дренажную систему, состоящую из перфорированных полиэтиленовых труб, и далее по двум трубопроводам К-23 самотеком поступает в контактный резервуар для обеззараживания раствором гипохлорита натрия или на установки ультрафиолетового обеззараживания (УФО), далее в приемный резервуар насосной станции №3 СПУ и откачивается в Саратовское водохранилище. Основная масса доочищенной воды от аэрируемых зернистых фильтров (АЗФ) идет в контактный резервуар, а небольшая часть доочищенной воды (500-600 м3/час) самотеком поступает в приемные резервуары насосной станции №1.

Насосами доочищенная вода из приемных резервуаров периодически по мере необходимости, подается на промывку аэрируемых зернистых фильтров по коллектору К-27.

Процесс фильтрации осуществляется на 13 фильтрах со скоростью 5 м/час.

Для насыщения кислородом в фильтр через распределительную трубчатую систему подается от воздуходувной станции сжатый воздух по трубопроводу. Уровень воды в каждом фильтре поддерживается автоматически регулирующей заслонкой, установленной на трубопроводе выхода отфильтрованной воды.

На обеззараживание подаются очищенные сточные воды, прошедшие механическую, биологическую и доочистку на аэрируемых зернистых фильтрах. Обеззараживание сточных вод происходит через станцию УФО или подачей гипохлорита натрия в контактный резервуар.

Станция ультрафиолетового обеззараживания сточных вод. Сырой осадок с первичных отстойников и избыточно активный ил перекачивается на аэробные стабилизаторы с целью уменьшения содержания в них органических веществ, улучшения санитарных показателей. Затем сброженная смесь перепускается в илоуплотнители, откуда поступает либо на установки центрифугирования или на иловые карты. На иловых площадках осуществляется естественное обезвоживания и подсушка стабилизированного осадка , в случае выхода из строя (ремонт) центрифуги.

Обеззараженные сточные воды поступают приемную камеру насосной станции №3 СПУ, туда же подаются условно-чистые стоки с насосной станции №1 «КуйбышевАзот», очищенные стоки с очистных сооружений АО«Тольяттикаучук», в аварийных случаях очищенные сточные воды после очистных сооружений ООО «АвтоградВодоканал».

Все вышеназванные стоки поступают по трубопроводам в приемный резервуар поз.1 и насосами поз.1/1-1/8 по трем коллекторам диам.1400мм перекачиваются в Саратовское водохранилище.

В состав коллектора входит: три напорных трубопровода диаметром 1400мм, самотечный железобетонный участок с двумя трубопроводами диаметром 1200мм, два дюкера проходящих через судоходный канал диаметром 1200 мм и один коллектор рассеивающего выпуска сточных вод в Саратовское водохранилище.

Установка центрифугирования осадка предназначена для снижения влажности сброженного осадка с 97-98 % до 70 % в целях уменьшения объема его и для обеспечения лучших условий для его утилизации.

Уплотненная стабилизированная смесь осадков первичных отстойников и избыточного ила с влажностью 97─98 % поступает от илоуплотнителей в заглубленную железобетонную емкость поз. Е─7 (V=8м3),затем насосами подается на установки центрифугирования.

Обезвоженный осадок с влажностью 70% после установок центрифугирования подается в бункер Х-6. Выгрузка кека из бункера Х-6 производится аппаратчиком медленным открытием шибера, откуда выгружается в автомашины с и вывозится в отвал в места, согласованные с контролирующими органами или складируется на иловых площадках. Фугат подается в приемную камеру в начало очистных сооружений.

Насосная станция N2 предназначена для приема и перекачки стоков и осадка из аэробных стабилизаторов, илоуплотнителей поз.1,2, при их опорожнении во время ремонта. Также для приема и перекачки в приемную камеру биологических очистных сооружений осветленного стока от илоуплотнителей и иловых карт, хозбытовых стоков с площадки очистных сооружений.

Воздуходувная станция предназначена для подачи сжатого воздуха на аэрируемые песколовки, жиросборные колодцы первичных отстойников, аэрируемые зернистые фильтры, аэробные стабилизаторы, аэротенки- смесителей. За счет тяговой силы, создаваемой нагнетателями, атмосферный воздух засасывается через жалюзийные решетки в камеры грязного воздуха. Из камер грязного воздуха, пройдя через рулонные фильтры марки воздух поступает в камеры очищенного воздуха. Воздух, очищенный на фильтрах, по всасывающему трубопроводу, оборудованному дроссельной заслонкой, поступает последовательно на первое, затем на второе колесо ротора нагнетателя , где сжимается до 0,1 МПа и по нагнетательному трубопроводу, оборудованному обратным клапаном и задвижкой с электроприводом подается в общий коллектор воздуха.

1.3 Анализ качества очистки стоков на очистных сооружениях ОАО «Тольяттиазот»

Таблица 2 - Качества сточных вод на различных этапах очистки

Наименование сбрасываемых сточных вод, отделение, аппарат	Место сбрасывания	Количество стоков $м^3$/сутки	Периодичность сброса	Характеристика сброса					
				Содержание контролируемых вредных веществ в сбросах, мг/л		ПДК и ПДК рыб. хоз. сбрасываемых вредн. в-в , мг/л		Допускаемое количество сбрасыв. вр. в-в,кг/сут.	Примечание
1	2	3	4	5		6		7	8
Осветленные сточные воды	Илоуплотнитель	83	Постоянно	Азот аммонийный	30,1	0,4	0,0655	0,84	Все жидкие отходы перекачиваются в приемную камеру очистных сооружений для последующей переработки на биологической очистке
				Нитрат -ион	50,0		15,71	0,75	
				нитрит - ион	0,21	0,2	0,016	0,02	
				Карбамид	40,1	5,0	2,2	0,76	
				Фосфаты	5,16		2,0	0,013	
				Сульфаты	253		260,7	21,00	
				Хлориды	59	100,0	70,0	4,90	
				Взвешенные	200,2		15,7	3,59	
				Сухой ос таток	1522		805,0	76,53	
				Железо	3,8	0,5	0,0152	0,32	
				Нефтепродукты	5,3		0,05	0,11	
				Хром 6+	отс.	отс.	отс.	отс.	
				Никель	отс	отс	отс	отс	
				Моноэтаноламин	отс.	отс	отс	отс	

Продолжение таблицы 2

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7	8	9.	10.
Фугат	Центрифуга		Постоянно	Азот аммонийный	60,0	0,4		101,4	
				Нитрат -ион	100		15,71	0,79	
				Нитрит - ион	0,5			0,1	
				Карбамид	80,0		2,2	197,3	
				Фосфаты	10,1		2,0	8,29	
				Сульфаты	285.0		260,7	394,60	
				Хлориды	90,0	100,0	70,0	355,14	
				Взвешенные	542.0		15,7	2138,73	
				Сухой ос таток	1816		805	4009,14	
				Железо	6,1	0,5.	0,015	24,07	
				Нефтепродукты	12,0		0,05	27,62	
				Хром 6+	отс	отс	отс.	отс.	
				Никель	отс	отс.	отс.	отс.	
				Моноэта ноламин	отс.	отс	отс.	отс.	
Промывные сточные воды после зерни-стых фильтров	АЗФ	3946		Азот аммонийный	1,4	0,4	0,2	0,84	
				Азот нитратный	62,0	0,0655	0,0016	0,75	
				Азот нит ритный	0,33		5,0	0,02	
				Карбамид	25,39	15,71	2,2.	0,76	
				Фосфаты	1,31		2,0	0,013	
				Сульфаты	245,24		260,7	21,00	
				Хлориды	236,37	100,0	70,0	4,90	
				Взвешенные	25,13		15,7	3,59	
				Сухой остаток	1127		805,0	76,53	
				Железо	0,63	0,5.	0,0152	0,32	
				Нефтепродукты	0,22		0,05	0,11	
				Хром 6+	отс.	отс	отс	отс	
				Никель	отс.	отс.	отс.	отс.	
				Моноэтаноламин	отс.	отс	отс.	отс.	

Таблица 3 - Качество сточных вод после БОС ОАО «Тольяттиазот» за 2012 и 2013 годы

№ п/п	Загрязнитель	Норматив ПДС мг/л	Концентрация 2012, мг/л	Концентрация 2013, мг/л
1.	Ион аммония	4,400	0,319	0,379
2.	Нитрит - ион	0,08	0,019	0,040
3.	Нитрат - ион	51,4	59,253	61,285
4.	БПК полное	3	3,155	2,026
5.	Взвешенные вещества	11,2	12,525	11,143
6.	Железо	0,622	0,654	0,554
7.	Карбамид	28,18	11,828	12,525
8.	Медь	0,001	0,004	0,002
9.	Нефтепродукты	0,158	0,081	0,053
10.	СПАВ	0,036	0,008	0,012
11.	Сульфаты	169,73	232,313	206,318
12.	Сухой остаток	1316,75	986,900	1100,045
13.	Фосфаты	1,17	1,027	0,933
14.	Хлориды	122,9	94,790	87,258
15.	Цинк	0,012	0,010	0,009
	Объем		23636,672	22726,439

Исходя из данных предприятия, представленных в таблице 3, приоритетными загрязняющими веществами являются: сульфаты, взвешенные вещества, содержание меди, нитриты и нитраты. Вследствие чего, возникает необходимость в разработке мероприятий направленных на совершенствование существующей системы очистки сточных вод на предприятии ОАО «Тольяттиазот».

Таблица 4 - Качество сточных вод, поступающих от ООО «Тольяттикаучук»

Показатели	Химзагрязненные сточные воды		Химзагрязненные сточные воды от цеха И-6		Хозбытовые сточные воды		Смесь сточныхвод		Требования к оборотной воде
	Ср.	Макс.	Ср.	Макс.	Ср.	Макс.	Ср.	Макс.	
Расход, $м^3$/сут	53,4		1,92		3,9		59,22		
Рн, рН	7,6	11,8	3,5	4,2	7,7	8,5	7,5	11,3	7,0-8,0
ХПК, $мгO_2/дм^3$	193,5	836,0	н/д	н/д	97,4	598,0	187,1	820,3	50,0
БПК полн., $мгO_2/дм^3$	127,6	494,4	н/д	н/д	56,9	327,5	122,94	483,4	<6,0
Взвешенные вещества,$мг/дм^3$	22,89	59,0	н/д	н/д	22,8	109,0	22,88	62,35	< 20
Аммоний-ион, $мг/дм^3$	4,15	30,0	н/д	н/д	4,26	47,0	4,16	31,12	< 2,0
Нитрат-ион, $мг/дм^3$	3,03	13,2	н/д	н/д	1,71	6,62	2,94	12,77	<100,0
Нитрит –ион, $мг/дм^3$	0,22	0,96	н/д	н/д	0,06	0,21	0,21	0,91	<0,2
Фосфаты, $мг/дм^3$	0,24	0,35	н/д	н/д	0,46	0,87	0,25	2,25	<3,0
Железо общее, $мг/дм^3$	0,47	0,99	н/д	н/д	0,76	1,94	0,49	1,05	<1,0
Хлориды, $мг/дм^3$	373,1	777,5	н/д	н/д	22,28	43,5	350,0	729,16	< 350
Сульфаты, $мг/дм^3$	82,9	172,8	н/д	н/д	22,28	43,5	350	729,16	< 500
СПАВ анионоакт, мг/дм3	0,04	0,1	н/д	н/д	0,11	0,17	0,04	0,105	<0,5
Нефтепродукты, $мг/дм^3$	1,81	5,27	н/д	н/д	3,02	12,72	1,89	5,76	< 0,14
Цинк , $мг/дм^3$	<0,05	<0,05	н/д	н/д	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	< 0,05
Медь, $мг/дм^3$	0,009	0,031	н/д	н/д	0,01	0,104	0,009	0,036	<0,05
Никель, $мг/дм^3$	<0,08	<0,08	н/д	н/д	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	< 0,05
Хром (6-вал.), $мг/дм^3$	<0,01	<0,01	н/д	н/д	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05
Свинец, $мг/дм^3$	0,007	0,018	н/д	н/д	0,005	0,02	0,007	0,018	< 0,05

Среднее соотношение БПК/ХПК составляет 0,66, что свидетельствует о достаточном количестве легкоокисляемых примесей, поэтому для очистки данных сточных вод целесообразно применить биологические методы. Среднее соотношение $БПК_{полн}$ азот фосфор составляет 100:3,22:0,2, значит, содержания основных биогенных элементов не достаточно. Дефицит азота и фосфора, входящих в состав живых бактериальных клеток, приводит к замедлению или прекращению процессов биологической очистки. Для реализации процесса биологической очистки необходимо осуществить биогенную подпитку.

Концентрации тяжелых металлов имеют значения, которые не будут приводить к нарушению бактериального метаболизма. СПАВ в сточных водах практически отсутствуют, что обеспечит хорошую способность взвешенных веществ к осаждению.

Таким образом, в стоках, приходящих с ООО «Тольяттикаучук» существуют превышение по нефтепродуктам, хлоридам и повышенное содержание аммония.

Концентрации хлоридов и сульфатов существенно не влияют на физико-химические и биологические процессы очистки сточных вод. Но так как очищенные сточные воды планируется направлять на использование на предприятие, вместо речной воды, то для предотвращения засоления оборотной системы необходимо предусмотреть снижение их концентрации.

В связи с вышесказанным, можно предложить несколько вариантов решения проблемы:

- совершенствование очистных сооружений;

- совершенствование технологий производственных процессов непосредственно на предприятие;

- организацию мероприятия по снижению количества сброса стоков в Саратовское водохранилище.

В работе проведен детальный анализ качества стоков после биологической очистки и очищенных соков, результаты приведены в таблицах 2-4.

1.4 Оценка воздействия на окружающую среду приоритетных загрязняющих веществ

Составлен анализ воздействия на окружающую среду приоритетных загрязняющих веществ, содержащихся в стоках ОАО «Тольяттиазот» и рекомендуемых методов их очистки (табл.5).

Таблица 5 - Воздействие на окружающую среду приоритетных загрязняющих веществ, содержащихся в стоках ОАО «Тольяттиазот» и методы их очистки

Вещество	**Негативное воздействие на ОС и человека**	**Рекомендуемые методы очистки**
1	2	3
Нитраты	Считаются вредными элементами, воздействующими на гемоглобин человека и попадают в организм двумя путями — посредством употребления продуктов, в которых они содержатся или же нитратами, которые впоследствии превращаются в организме в нитриты. Под влиянием нитратов в крови рыб повышается содержание метгемоглобина. При концентрации нитратов 0,7 мг/л в течение 23 часов уровень метгемоглобина в крови достигает у радужной форели 80% от общего содержания гемоглобина, а нитратов в крови – 5 мг/л. Рыбы гибнут уже при 48%.	1. Обратный осмос 2. Ионный обмен

Продолжение таблицы 5

1	2	3
Нитриты	Уровень метгемоглобина повышается в крови рыб и при уменьшении pH (9,1; 7,0; 5,3 - соответственно 11, 63 и 76%) от общего содержания гемоглобина. Нитраты концентрируются в плазме крови, поступают через жабры. Обладают свойствами усиливать рост макрофитов и вызывать цветение водоемов. При массовом развитии водорослей происходит ассимиляция углекислоты, и pH увеличивается до 10 - 10,5. Это приводит к гибели микрофлоры, раков и рыбы. Кроме того, меняется растворимость некоторых элементов, например Са. Но, вероятно, здесь большое значение имеют антибактериальные свойства водорослей, их фитонцидов и перенасыщение О2. Загрязнение водоемов соединениями азота постоянно возрастает: - в сточных водах содержание увеличилось на 70%;	1. Обратный осмос 2. Ионный обмен

Продолжение таблицы 5

1	2	3
	- в атмосфере от двигателей внутренних сгорания - 300%; - в удобрениях – 1 400%; - в питьевой воде повсеместно превышение ПДК (0,001). Значительное поступление нитратов в водоемы происходит из донных отложений (в присутствии кислорода - нитрифицирующие бактерии), но, возможно, лучшим источником азота для водорослей является NH4, так как в загрязняемых водоемах кислорода на дне мало, и процессы нитрификации затормаживаются.	
Хлориды	Повышенные содержания хлоридов **ухудшают вкусовые качества воды**, делают ее малопригодной для питьевого водоснабжения и ограничивают применение для многих технических и хозяйственных целей, а также для орошения сельскохозяйственных угодий.	1. Обратный осмос 2. Сорбция 3. Катионирование 4. Озонирование

Продолжение таблицы 5

1	2	3
Сульфаты	Концентрация в большинстве пресных вод очень низкая. Сульфаты плохо всасываются из кишечника человека.	1. Обратный осмос 2. С применением анионитов
Нефтепродукты	В присутствии нефтепродуктов вода приобретает специфический вкус и запах, изменяется ее цвет, pH, ухудшается газообмен с атмосферой. Распад нефтепродуктов в водоеме может привести к следующим изменениям состава природных вод: - к увеличению численности бактерий; - изменению органолептических свойств; - увеличению концентрации растворимых в воде органических веществ; - увеличению концентрации токсических продуктов (фенолов, нафтолов и других оксипроизводных углеводородов); - увеличению концентрации легко окисляющихся кислородсодержащих соединений;	1. Обратный осмос. 2. Осаждение. 3. Ионный обмен. 4. Адсорбция. 5. Флотация. 6. Фильтрование. 7. Флокуляция. 8. Коагуляция.

Продолжение таблицы 5

1	2	3
	возрастанию поверхностно-активных свойств, вспениванию воды; - увеличению содержания биогенов в воде и развитию зоопланктона и водорослей фитопланктона и перифитона.	
Аммонийный азот	Большое количество аммонийного азота приводит к кислородному голоданию растений и отрицательно влияет на флору и фауну водного бассейна. В питьевой воде содержание аммонийного азота вообще не допустимо.	1. Хлорирование; 2. Обратный осмос. 3. Биологический способ. 4. Ионообменный на сильнокислотном катионите. 5. Ионообменный на неорганическом ионите. 6. Ионообменный на природном цеолите – клиноптилолите. 7. Аэрация.
Медь	Избыточные концентрации меди оказывают неблагоприятное воздействие на растительные и животные организмы.	1. Ионный обмен. 2. Обратный осмос.
Взвешенные вещества	Взвешенные частицы воздействуют на уровень прозрачности жидкости и на возможность	1. Отстаивание. 2.Автоматическая фильтрация через решетки.

Продолжение таблицы 5

1	2	3
	проникновения в нее световых лучей, на температуру, состав содержащихся в ней элементов поверхностных вод. Содержание взвешенных веществ не должно увеличиваться больше чем на 0,25 - 0,75 мг/л. Для водоемов, содержащих в межень более 30 мг/л природных минеральных веществ, допускается увеличение содержания взвешенных веществ в воде в пределах 5%.	3. Обратный осмос.

Исходя из данных таблицы, можем спрогнозировать, что дальнейшие сбросы этих приоритетных загрязнителей приведут к катастрофическому состоянию Саратовского водохранилища, так же это подтверждается интегральной оценкой риска водоема.

1.4.1 Интегральная оценка риска загрязнения водоема

Интегральную оценку качества стока можно осуществить на основе анализа показателей химической безвредности, основанной на методологии оценки риска для здоровья населения. Общие принципы расчетов, экспозиционные и референтные дозы представлены в Руководстве Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» [27]. Вместе с тем,

для обеспечения единого, научно-обоснованного подхода к интегральной оценке риска для здоровья населения от воздействия химических веществ, содержащихся в питьевой воде, необходима разработка унифицированного порядка и алгоритма ее проведения [42].

Для неканцерогенов расчет неканцерогенного риска осуществляется в следующей последовательности:

1. Рассчитывается предельно допустимая концентрация загрязнителя по формуле (1):

$$ПДК_j = C_{limj} \cdot / K_{3j}, \quad (1)$$

где j = 1, *m*, m – число неканцерогенных веществ, $K_З$ - обычно принимается 10 (для ряда примесей может быть иным - для свинца, например, равен 3; для примесей, обладающих канцерогенными свойствами - 100).

2. Определяем неканцерогенный риск по конкретному j-му загрязняющему веществу по формуле (2):

$$Riskj=1– \exp((\ln 0{,}84)/(ПДКj \cdot K_{3j} \cdot C_j)) \quad (2)$$

3. Рассчитывается суммарный неканцерогенныйриск от воздействия всех j-ых загрязнителей по формуле (3):

$$Risk_{нек}=1–(1–Risk_1)\cdot(1\ Risk_2)\cdot\ldots\cdot(1 – Risk_j)\cdot\ldots\cdot(1–Risk_m) \quad (3)$$

4. В конце рассчитывается интегральный показатель (ИП) по формуле (4) и сравнивается с допустимым значением ИП ≤ 1:

$$ИП=Riskнек/ПЗнек)+(Riskканц/ПЗканц), \quad (4)$$

где $ПЗ_{нек}$ – приемлемое значение неканцерогенного риска (0,05);

$ПЗ_{канц}$ – приемлемое значение канцерогенного риска (1·10-5).

Превышения значения приемлемого риска хотя бы по одному из его видов ($Risk_{ро} \le 0{,}1$; $Risk_{нек} \le 0{,}05$;$Risk_{канц} \le 1\cdot10\text{-}5$) или значения интегрального показателя требует принятия дополнительных мер по регулированию качества воды, а в том случае, когда все виды риска, а также интегральный по-

казатель, находятся в пределах приемлемого значения, такие мероприятия не требуются.

Расчеты уровня приемлемого риска представлены в таблице 6.

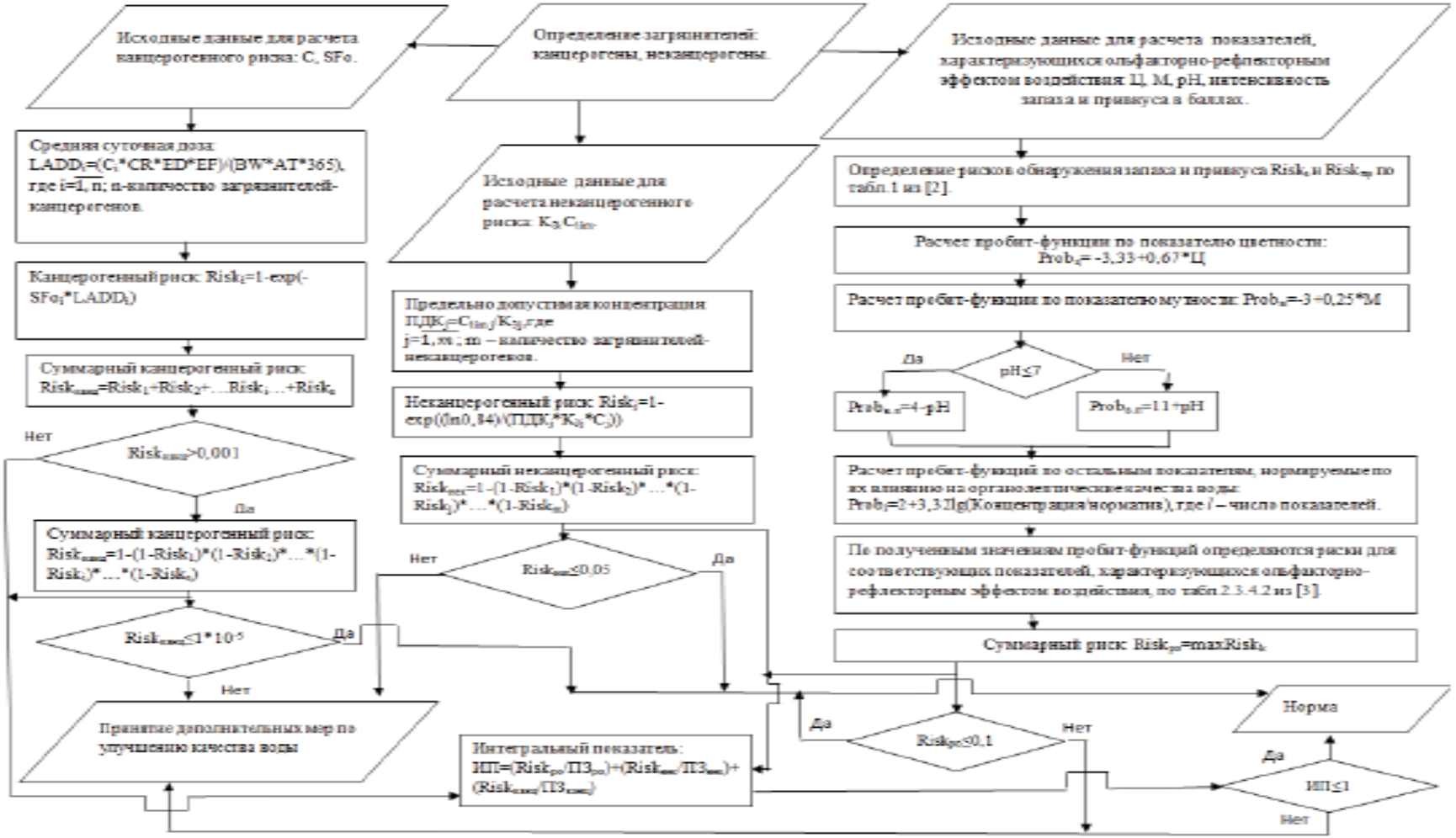


Рисунок 6 - Оценка риска здоровью населения при воздействии химических веществ, содержащихся в стоках предприятий

Таблица 6 – Результаты расчета оценки уровня риска загрязнения водоема

Вещество	**ПДК**	**C_{limj} мг/л**	**Коэффициент запаса $K_{зj}$**	**Неканцерогенный риск $Risk_j=1-exp((ln0,84)/(ПДК_j \cdot K_{зj} \cdot C_j))$**
Нитраты	0,08	0,019	10	0,9999896
Нитриты	51,4	59,253	10	5,725E-06
Хлориды	11,2	12,525	10	0,0001243
Сульфаты	169,73	232,313	10	4,422E-07
Нефтепродукты	0,14	5,27	10	0,0233545
Аммонийный азот	2,0	30,0	10	0,0002905
Взвешенные вещества	11,2	12,525	10	0,0001243
$Risk_{нек}$				**0,9999898**

$Risk_{нек}$=0,9999898> 0,05, следовательно порог приемлемого риска превышен в 20 раз и переходит в уровень практически необратимых последствий. Соответственно необходимо принятие мер, по снижению сбросов в водные источники, а конкретно в Саратовское водохранилище, в рассматриваемом случае, во избежание отравления или вымирания животных и рыб, а также непосредственно отравления местного населения и близлежащих городов и поселков.

ГЛАВА 2. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОАО «ТОЛЬЯТТИАЗОТ»

2.1 Обратный осмос и мембрана, общие сведения

Осмос - это естественный процесс, в ходе которого вода пропускается через полупроницаемую мембрану из области с низкой концентрацией к области с высокой концентрацией, до тех пор, пока концентрация на обеих сторонах не становится равной.

Процесс обратного осмоса является техническим применением этого принципа для достижения очистки воды путем использования наружного давления в области раствора с большей концентрацией[51].

Это приводит к изменению направления среды растворения в сторону области низкой концентрации раствора, таким образом, в одной области производится очистка, в то время как в другой повышается концентрация примесей. Схематическое изображение процессов осмоса и обратного осмоса представлено на рисунке 7.

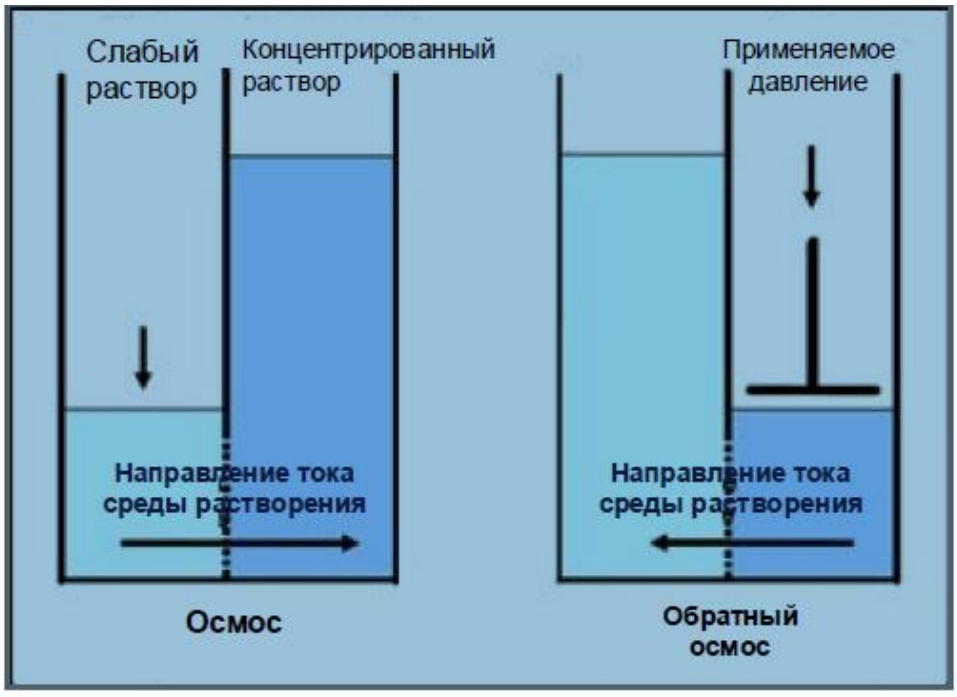


Рисунок 7 - Схематическое изображение процессов осмоса и обратного осмоса

Мембраны обратного осмоса удерживают растворенные соли и ионы металлов, а также органические соединения и бактерии. Степени удержания взвеси мембраной зависит от типа используемой мембраны, и получаемая разница между характеристиками пропускания жидкости мембраной обратного осмоса и характеристиками пропускания раствора. Качество конечного стока после системы обратного осмоса является уникальным сочетанием данных факторов. В целом, прохождение солей находится в обратной зависимости от давления (т.е. прохождение солей возрастает с уменьшением применяемого давления) снижение давления влечет снижение потока пермеата, поскольку проникание находится в пропорциональной зависимости от применяемого давления [51].

Мембраны обратного осмоса имеют спиральную конфигурацию модулей (рисунок 8), где несколько листов мембран обернуты вокруг центральной коллекторной трубы пермеата. Каждый лист мембраны имеет многослойную структуру, в которую входят два слоя листов мембраны, каждая из которых обращена мембранным слоем наружу, зачастую, разделенных между собой еще одним тонким слоем [57].

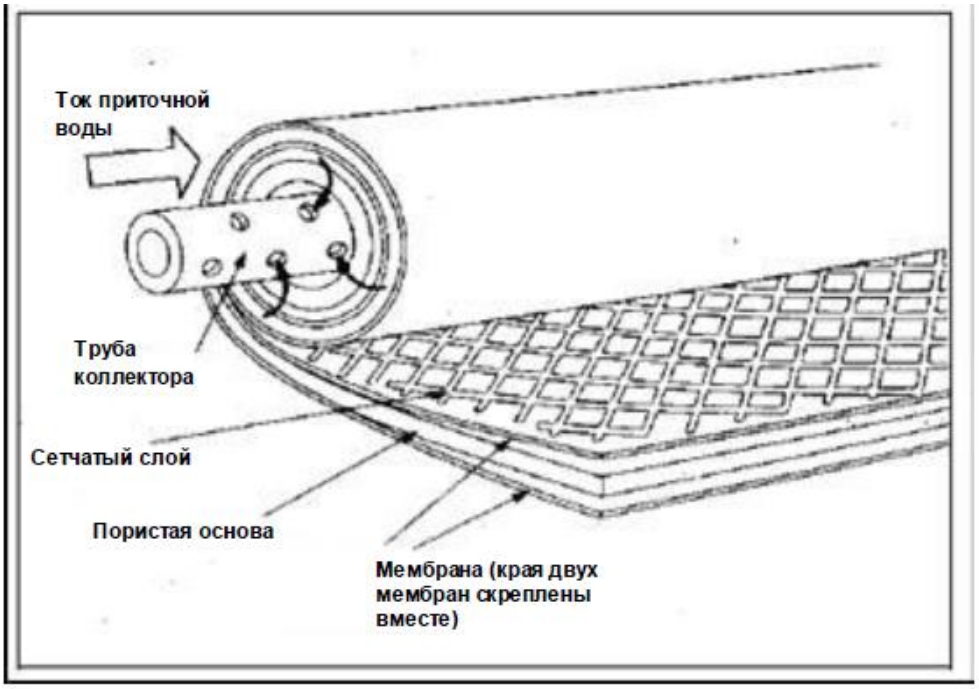


Рисунок 8 - Спиральная конфигурация мембраны

Многослойная структура скреплена клеем с трех сторон, четвертая сторона оставлена для соединения с трубой коллектора пермеата. После этого каждый многослойный лист мембраны отделяется от других листов при помощи редкотканного пластичного материала, укладываемого для разделения мембранных листов и создания завихрений тока. Несколько слоев данных листов и разделителей соединяются в центре у трубы коллектора пермеата (труба имеет высверленные отверстия тля пропускания пермеата внутрь), после чего плотно наматываются один на другой в одном направлении, в результате чего листы спирально расходятся от центральной трубы. Мембрана получила свое название благодаря этой схеме расположения листов.

Вода на очистку подается насосом через данную спиральную бухту, где токи приточной воды и концентрата движутся параллельно поверхности мембраны. Приточная вода движется в сетчатом слое, а пермеат движется в пористой основе, которая ведет к центральной трубе коллектора.

По мере того, как вода продвигается вдоль длины поверхности мембраны, а пермеат постоянно выходит из основного канала питательной воды, объем остаточного концентрата снижается. Поскольку остаточный объем вдоль длины мембраны уменьшается, коэффициент концентрации, связанный с растворенными составляющими должен приниматься в расчет в техническом проекте. Кроме того, воздействие концентрации солей, а также их влияние на возрастание пропускания солей должны быть приняты во внимание в техническом проекте. Преимущество спиральной конфигурации заключается в плотности укладки мембранной зоны в относительно небольшом резервуаре под давлением [48].

Для расчета установки обратного осмоса необходимо провести расчет материального баланса: схема материального баланса и расчет представлены на рисунке 9 и в таблице 7 соответственно.

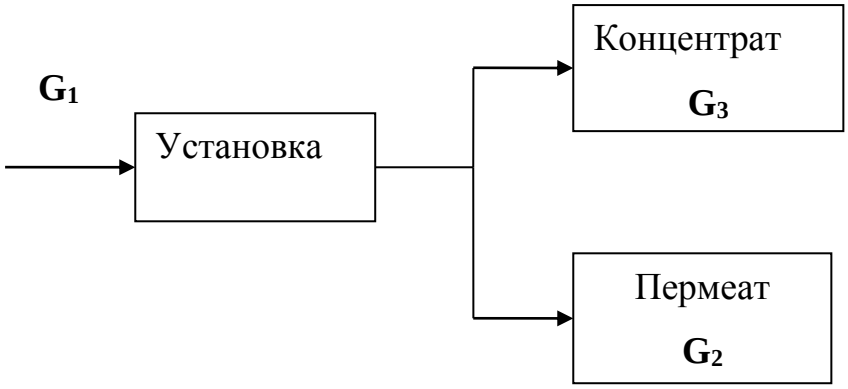


Рисунок 9 — Схема материального баланса

Таблица 7 — Материальный баланс

Компоненты	**G_1(кг/л)**	**G_2(кг/л)**	**G_3(кг/л)**
Нитриты	0,366	0,000012	0,000228
Нитраты	0,00024	0,0171	0,345
Медь	0,000012	0,00000056	0,00001144
Сульфаты	1,236	0,057	1,179
Взвешенные вещества	0,066	0,031	0,035
ИТОГО	1,668252	0,105113	1,559239

$$G_2=G_1 \cdot 0{,}0468 \quad (5)$$

где G_1 - содержание вещества в исходном растворе (6000м^3);

G_2 - количество пермеата;

0,0468 - селективность мембраны (кг/ч).

2.2 Расчет мембраны и установки обратного осмоса

2.2.1 Выбор рабочей температуры и перепада давления через мембрану

В расчетах будем отталкиваться от температуры 25 и выше.

Выбираем t = 25°С, и перепад давления Δр= 5 МПа.

2.2.2 Выбор мембраны

Качество пермеата должно соответствовать санитарным нормам или нормам на техническую воду, поэтому мембрана должна обладать максимальной производительностью и такой селективностью, чтобы обеспечивать выполнение требований к качеству пермеата, так же мембрана должна обладать высокой химической стойкостью, по отношению к раствору.

При работе в нейтральных растворах наибольшее распространение получили ацетатцеллюлозные мембраны, которые характеризуются хорошими разделительными свойствами, но не являются химически стойкими в щелочных и сильнокислых средах (рабочий диапазон 3<pH<8). Поскольку раствор $CuSO_4$ укладываются в этот диапазон, последующий выбор проводим из ацетатцеллюлозных мембран [8].

1. Рассчитаем истинную селективность:

$$\lg(1-\varphi_И) = a - b \cdot \lg(\Delta H_{СГ} / Z_М), \quad (6)$$

где a и b - константы для данной мембраны при определенных давлении и температуре;

$\Delta H_{СГ}$ - среднее геометрическое значение теплот гидратации ионов, образующих соль;

$Z_М$ - валентность иона с меньшей гидротационной теплотой.

Для рассматриваемого случая ΔH_{Cu}^{2}=2131кДж/моль,

ΔH_{SO4}^{2}=кДж/моль, $Z_М = Z_{Cl^-} = 1$.

Тогда

$\Delta H_{СГ}$= $\sqrt{2131 \cdot 1110}$ =1538 кДж/моль

Рассмотрим следующую по удельной производительности мембрану - МГА-90:

x_2=0,009(1-$5^{-(1-0,986)/0,986}$)/(1-$5^{-1/0,986}$)=0,00016кг соли/кг раствора - средняя концентрация растворенного вещества в пермеате;

L_n=1,67· (1 - $1,67^{-1/0,986}$)= 0,667 кг/с

$L_Н x_{1Н}$=1,67·0,009 = 0,015 кг/с - расход соли с исходным раствором;

$L_Н x_{2Н}$= 0.667·0,00015= 0,000100кг/с - потери соли с пермеатом.

В процентах составит:

0,0001 · 100/0,0015 = 6,66%

Это значение находится в пределах допустимого, поэтому для дальнейшей работы выбираем мембрану МГА 90.G_0= 3 · 10^{-3}кг/($м^2$·с)

2. Приближенный расчет поверхности мембраны.

Удельная производительность мембран G при разделении обратным осмосом водных растворов электролитов определяется соотношением:

$$G = G_0 \cdot (1-\pi_1/\Delta p) \quad (7)$$

где Δp - перепад рабочего давления через мембрану;

π_1- осмотическое давление в объеме разделяемого раствора;

G_0- удельная производительность по воде.

По данным [8] строим график зависимости осмотического давления от концентрации $CuSO_4$ (рис.10).

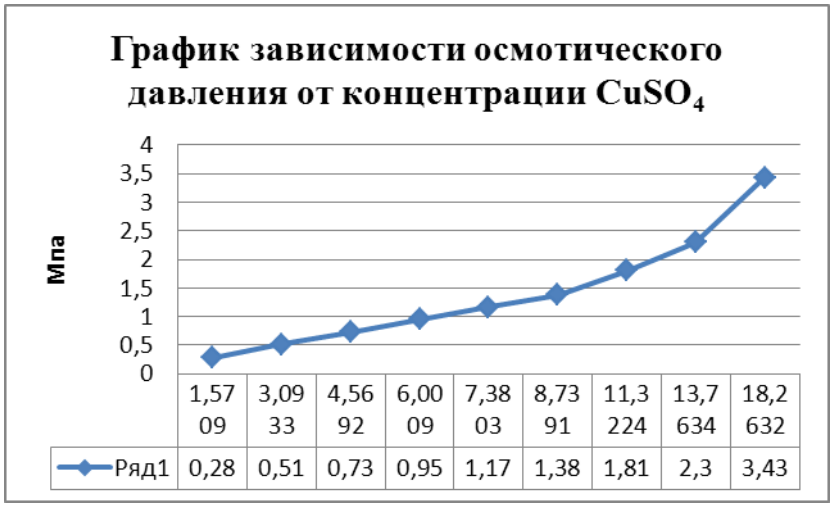


Рисунок 10 - График зависимости осмотического давления раствора $CuSO_4$ от его концентрации, при температуре 25ºС

По графику находим $\pi_{1н}$=0,28 МПа;$\pi_{1к}$=0,73 МПа.

Производительность на входе и на выходе аппарата обратного осмоса:

$$G_Н = G_0 \cdot (1- \pi_{1н}/\Delta p)=2,8 \cdot 10^{-3}кг/(м^2 \cdot с), \quad (8)$$

$$G_к = G_0 \cdot (1- \pi_{1к}/\Delta p)= 2,56 \cdot 10^{-3}кг/(м^2 \cdot с);$$

Выразим среднюю удельную производительность мембран, как среднее арифметическое:

$$G=(G_H+G_к)/2=2{,}68\cdot 10^{-3}\text{кг}/(\text{м}^2\cdot \text{с}), \quad (9)$$

Рабочая поверхность мембран:

$$F = L_п/G = 233\text{м}^2 \quad (10)$$

2.3 Выбор аппарата и основных характеристик

Основные характеристики аппарата ЭРО-Э-6,5/900:

Длина рулонного модуля $l_М$, 0,90 м.

Длина пакета $l_П$, 0,95 м.

Ширина пакета $b_П$, 0,83 м.

Высота напорного канала, равная толщине сетки сепаратора $\delta_С$, $5\cdot 10^{-4}$ м.

Толщина дренажной сетки $\delta_д$, $3\cdot 10^{-4}$ м.

Толщина подложки δ_1, $1\cdot 10^{-4}$ м.

Толщина мембраны δ_2, $1\cdot 10^{-4}$ м.

Число элементов в модуле $n_э$ 5.

Материал корпуса Сталь Х18Н10Т.

Диаметр корпуса, 130·5 мм.

Толщина крышки, $2{,}5\cdot 10^{-2}$ м.

Диаметр крышки, 0,108 м.

Определим параметры аппарата (рис. 11), необходимые для расчетов.

Поверхность мембран в одном элементе определяется произведением $2\cdot l_п\cdot b_п$. Учитывая, что часть этой поверхности используется для склеивания пакетов (примерно на длине 0,05 м) и не участвует в процессе обратного осмоса, рабочую поверхность мембран в одном элементе $F_Э$ определим по со-

отношению:

$$F_Э = 2 \cdot (l_П - 0{,}05) \cdot (b_П - 2 \cdot 0{,}05) = 2 \cdot (0{,}95 - 0{,}05) \cdot (0{,}83 - 0{,}1) = 1{,}315 \ м^2$$

Рабочая поверхность мембран в одном модуле $F_М$ равна произведению $F_Э$ на число элементов в модуле:

$$F_М = F_Э \cdot n_Э = 1{,}315 \cdot 5 = 6{,}57 \ м^2$$

Примем, что аппарат состоит из двух модулей. Тогда рабочая поверхность мембран в аппарате:

$$F_А = 2 \cdot F_М = 13{,}14 \ м^2 \approx 13 \ м^2$$

Сечение аппаратов по которому проходит разделяемый раствор:

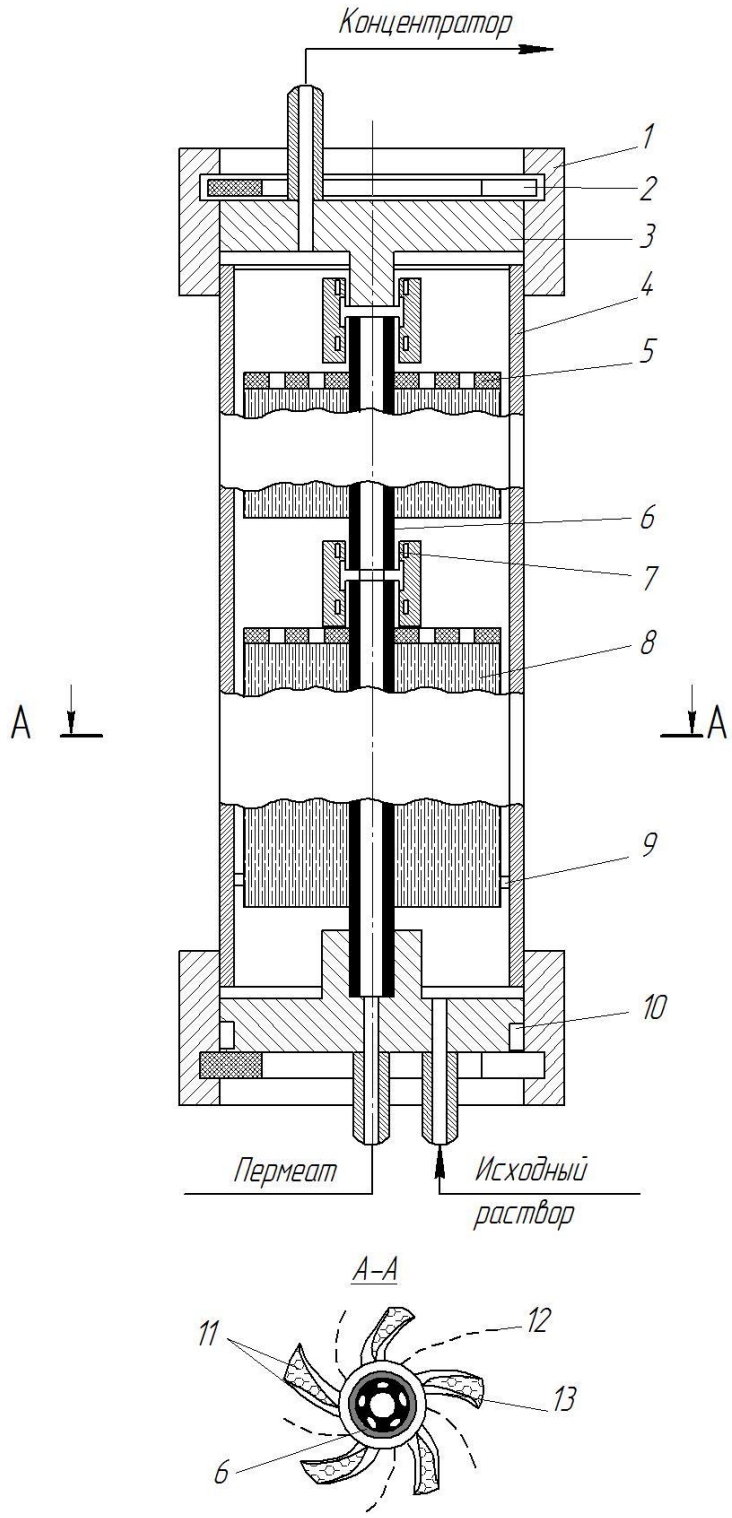
$$S_С = n_Э \cdot \delta_С \cdot (l_П - 0{,}05) = 5 \cdot 5 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}9 = 2{,}25 \cdot 10^{-3} \ м^2$$

Общее число аппаратов в мембранной установке

$$n = F/F_A = 17$$

2.3.1 Выбор аппаратов и основных характеристик

Проведем секционирование аппаратов в установке (рис. 12), т. е. определим число последовательно соединенных секций, в каждой из которых разделяемый раствор подается одновременно (параллельно) во все аппараты [8].



1 - накидное кольцо; 2 - упорные кольца; 3 - крышки; 4 - корпус; 5 - решетка; 6 - пермеатоотводящая трубка; 7 - резиновые кольца;8 - рулонные модули; 9 - резиновая манжетка; 10 - резиновые кольца, 11 - мембраны, 12 - сетка-сепаратор, 13 - дренажный слой.

Рисунок 11 - Схема устройства аппарата рулонного типа

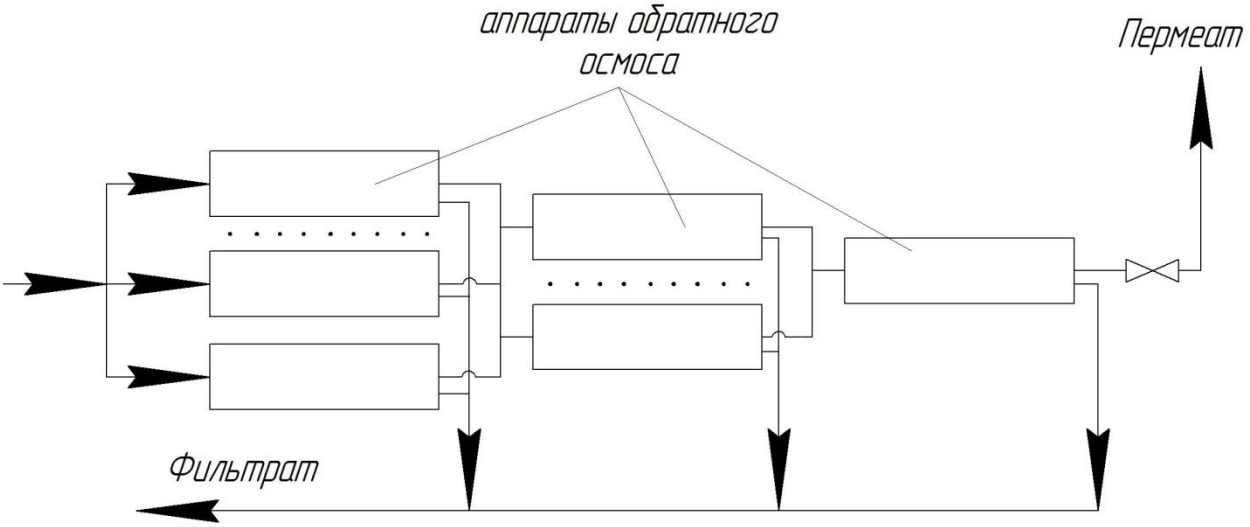


Рисунок 12 - Секционирование аппаратов в установке

Необходимость секционирования обусловлена тем, что при параллельном соединении всех аппаратов велико отрицательное влияние концентрационной поляризации, а при последовательном соединении чрезмерно велико гидравлическое сопротивление потоку разделяемого раствора.

Тогда число аппаратов в первой секции можно найти, разделив расход исходного раствора на значение оптимального расхода для каждого аппарата:

$$n = 1{,}67/0{,}278 = 6$$

Найдем значение q, соответствующее данному значению n_1:

$$q = 1/(1 - n_1 \cdot L_{ПА} / L_H) \qquad (11)$$

где $L_{ПА}$ - расход пермеата;

L_H - расход исходного раствора.

$$q = 1/(1-6 \cdot 2{,}25 \cdot 10^{-3} \cdot 13/1{,}67) = 1$$

Далее определим число аппаратов в последующих секциях:

$n_i = n_1 / q^{i-1}$

$n_2 = 6/1 = 6$

$n_3 = 6$

Суммируя число аппаратов, замечаем, что

$$\sum_{i=1}^{3} ni = 18$$

Таблица 8 - Количество аппаратов в секции

секция	1	2	3
число аппаратов в секции	6	6	6

2.4 Расчет селективности мембран

Наблюдаемую селективность рассчитываем по формуле:

$$\lg\frac{1-\varphi}{\varphi} = \frac{U}{2{,}3\cdot\beta} + \lg\frac{1-\varphi_И}{\varphi_И} \qquad (12)$$

где U - скорость движения раствора по направлению к мембране, вызванного отводом пермеата;

β- коэффициент массоотдачи.

Проведем расчеты при средних значениях рабочих параметров установки.

Средняя удельная производительность $\bar{G} = 2{,}25\cdot10^{-3}\ кг/(м^2\cdot с)$; средняя концентрация

$$x_1 = (x_{1н}+x_{1к})/2 = 2{,}75\%\ (масс.)$$

Средняя линейная скорость движения разделяемого раствора в каналах мембранных аппаратов:

$$\omega = (\omega_н\omega_к)/2 = [L_Н/(\rho_н \cdot S_с\cdot n_1)+L_к(\ \rho_к \cdot S_с\cdot n_к)/2 \qquad (13)$$

где $L_к$ - расход концентрата.

Подставив значения получим:

ω=0,49м/с

Значения плотности ρ и нужные для последующих расчетов значения коэффициентов кинематической вязкости ν и диффузии D находим в методическом пособии по расчетам [8].

Определим режим течения раствора.

Эквивалентный диаметр кольцевого канала:

$d_э=1\cdot10^{-3}$м

Критерий Рейнольдса:

$Re=\omega d_э/\nu=573$

Для нахождения среднего по длине канала значения Nu' в случае ламинарного потока в щелевых и кольцевых каналах можно использовать критериальное уравнение:

$$Nu'=1,67\ Re^{0,34}(Pr')^{0,33}(d_э/l)^{0,3} \qquad (14)$$

где $Pr'=\nu/D$ - диффузионный критерий Прандтля;

l- длина канала, равная ширине пакета.

Подставив численные значения, получим:

Pr'=790

Nu'=13,17

Коэффициент массоотдачи:

$\beta=Nu'\cdot D/d_э=1,12\cdot10^{-5}$м/с

Поперечный поток:

$U=G/\rho=2,642\cdot10^{-6}$м/с

Теперь рассчитаем наблюдаемую селективность:

$\varphi=0,982$

Проверим пригодность выбранной мембраны. Определим концентрацию соли в пермеате, используя полученное значение наблюдаемой селективности:

$x_2=0,009(1-1,67^{-(1-0,982)/0,982})/(1-1,67^{-1/0,982})=0,00020$ кг соли/кг раствора

Найдем расход пермеата:

$L_п=1,67(1-1,67^{-1/0982})=0,679$кг/с

Потери соли с пермеатом:

$L_п x_2=0,00013$кг/с,

что в процентах от исходного содержания составляет $0,00013\cdot100/0,015=0,9$ %. Это значение меньше допустимого (10 %), поэтому

нет необходимости перехода к более селективным мембранам.

2.4.1 Уточненный расчет поверхности мембран

Рассчитаем удельную производительность мембран с учетом осмотического давления раствора у поверхности мембраны и пермеата. Необходимые для расчета концентрации x_3 и x_2 найдем следующим путем. Согласно определению,

$$\varphi = (x_1 - x_2)/x_1 \quad (15)$$

$$\varphi_И = (x_3 - x_2)/x_3 \quad (16)$$

где x_1, x_2 и x_3 - концентрация соли в произвольном сечении аппарата соответственно в объеме разделяемого раствора, в пермеате и у поверхности мембраны со стороны разделяемого раствора

Отсюда для каждого поперечного сечения можно записать:

$$x_2 = (1-\varphi)\cdot x_1 = (1-\varphi_И)\cdot x_3 \quad (17)$$

$$x_3 = x_2/(1-\varphi_И) \quad (18)$$

Рассмотрим два крайних сечения.

Сечение на входе в аппараты первой секции:

$x_{2Н}=(1-\varphi)x_{1н}$= 0,000162 кг соли/кг раствора

$x_{3Н}=x_{2н}/(1-\varphi_и)$= 0,01157 кг соли/кг раствора

По графику (см. рис. 9) находим:

$\pi_{2Н}$=0,2МПа

$\pi_{3Н}$=0,02МПа

$G_Н$=0,0005кг/(м^2·с)

Сечение на выходе из аппаратов последней секции:

$x_{2к}=(1-\varphi)x_{1к}$=0,001828 кг соли/кг раствора

$x_{3к}=x_{2к}/(1-\varphi_и)$=0,0591кг соли/кг раствора

$\pi_{3к}$ =1,4МПа

$\pi_{2к}$=0,8 МПа

$G_к=3\cdot10^{-3}[1-(1,4-0,8)/1,67]=1,95\cdot10^{-3}$кг/(м$^2\cdot$с)

Выразим удельную производительность в виде функции от концентрации раствора:

$$G=G_0-cx_1 \qquad (19)$$

где с - константа для данной системы.

Найдем значение c для крайних сечений:

$$c_н=(G_0-G_н)/x_{1н}=0,000228$$

$$c_к==(G_0-G_к)/x_{1к}=0,000277$$

Разница между полученными значениями, выраженная в процентах, составляет:

$$(c_к-c_н)100/c_к=0,17\%$$

Это расхождение невелико, поэтому уравнение для нахождения удельной производительности применимо ко всей установке при использовании среднеарифметического значения c:

$$c=(c_к+c_н)/2=0,00025$$

Тогда удельная производительность $G=0,0023-0,032\cdot x_1$

Рабочую поверхность мембран можно определить по формуле ($\varphi=0,933\geq0,9$):

$$F= L_Нx_{1Н}/G_0[-c/G_0\ln(G_0-cx_{1k})x_{1Н}/(G_0-cx_{1Н})x_{1k}+1/x_{1Н}-1/x_{1k}] \qquad (20)$$

$$F=224$$

Расхождение со значением, полученным в первом приближении, составляет (233-224)100/224=4,01 %

Полученная разница не превышает 10 %, поэтому перерасчета не делаем.

2.5 Расчет гидравлического сопротивления

Развиваемое насосом давление $\Delta p_н$ рассчитывается по формуле:

$$\Delta p_н=\Delta p+\Delta p_а+\Delta p_д+0,1\Delta p_а \qquad (21)$$

где Δp - перепад давления через мембрану;

Δp_a- гидравлическое сопротивление при течении жидкости в каналах аппарата;

$\Delta p_д$- гидравлическое сопротивление дренажного слоя.

Определение Δp_a

$$\Delta p_a = \Delta p_{п.к.} \xi_1 , \quad (22)$$

где $\Delta p_{П.К.}$ - гидравлическое сопротивление полых каналов;

ξ_1 - коэффициент, зависящий от вида сепарирующей сетки. Обычно ξ_1=5-10. Для рассматриваемых рулонных модулей по экспериментальным данным ξ_1 =5,6 [8].

Раствор течет от первой до последней секции в каналах кольцевого сечения вдоль оси аппаратов. Общая длина канала l равна произведению числа секций, числа модулей в аппарате и длины пути в модуле, равной ширине мембранного пакета: l=4,98м [8].

Значение $\Delta p_{П.К.}$ определяют на основе общего выражения:

$$\Delta p_{п.к.}=\lambda l \rho \omega^2/2d_э \quad (23)$$

При ламинарном режиме течения в кольцевых и щелевых каналах λ=96/Re. Тогда

$$\Delta p_{п.к}=96 l \rho \omega^2/2Red_э=48 \nu l \rho \omega/d_э^2 \quad (24)$$

$$\Delta p_{п.к}=47962 \text{ Па}$$

$$\Delta p_a=80096 \text{ Па}$$

Определение $\Delta p_д$.

$$\Delta p_д=\Delta p_{п.к.} \cdot \xi_2 \quad (25)$$

где ξ_2 - коэффициент, зависящий от вида дренажного материала. Обычноξ_2=100-200

Эквивалентный диаметр (в перерасчете на полный канал) равен: $d_э$=2 ξ м.

$$\Delta p_{п.к}=96\nu G(l_п-0,05)^2/d_э^3 \quad (26)$$

$$G=(G_H+G_k)/2 \quad (27)$$

$$\Delta p_{п.к}=827 \text{ Па}$$

$$G=1,225\cdot10^{-3} \text{ кг/(м}^2\text{с)}$$

Примем ξ_2 =150. Тогда $\Delta p_д=375\cdot150=56250$ Па

Определим давление, которое должен развивать насос:

$$\Delta p_н=144360 \text{ Па}$$

Напор насоса (при плотности исходного раствора$\rho_н$)

$$H=\Delta p_н/(\rho_н g)$$

$$H= 14 \text{ м}$$

Для расчета установки обратного осмоса и полупроницаемой мембраны МГА 90 необходимо выбрать наиболее приоритетное загрязняющее вещество с наибольшей концентрацией в воде, так как расчеты необходимо производить, опираясь на большую концентрацию, чтобы правильно расположить мембраны в установке, поэтому использовался раствор $CuSO_4$, так как основная часть ионов присутствующих в сточных водах ОАО «Тольяттиазот» составляет сульфат и ион меди.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе был проведен анализ качества стоков ОАО «Тольяттиазот», который показал, что сбрасываемые сточные воды предприятия не удовлетворяют требованиям к водоемам рыбохозяйственного назначения по содержанию сульфатов, взвешенных веществ, содержанию меди, нитритов и нитратов. Вследствие чего, возникает необходимость в разработке мероприятий направленных на совершенствование существующей системы очистки сточных вод на предприятии ОАО «Тольяттиазот».

Детальный анализ работы очистных сооружений предприятия ОАО «Тольяттиазот», определил возможность совершенствования процесса очистки, а именно возврата части объема стоков в количестве 1500 $м^3$ /час на технические нужды предприятия. Проведя сравнительный анализ существующих технологий, определен метод очистки – обратный осмос, как наиболее эффективный, позволяющий добиться производительности в диапазоне 1200 — 1600 — 1800 $м^3$/ч получения пермеата, что является достаточным для предприятия. Проведен расчет установки обратного осмоса: проведен подбор мембран МГА 90, рассчитано число аппаратов в установке (составляет 18 штук).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гандурина Л.В., Фомичева Е.В. Интенсификация физико-механической очистки сточных вод / Водоснабжение и санитарная техника. – 1994. – № 4.– С. 14 – 15.

2. Гляденов С.Н. Очистка производственных и поверхностных сточных вод / Экология и промышленность России. – 2001. – № 8. – С. 7 – 9.

3. Гляденов С.Н. Очистка сточных вод: традиции и новации / Экология и промышленность России. – 2001. – № 2. – С. 15 -17.

4. Госкомэкология РФ. Методические указания по расчету платы за неорганизованный сброс загрязняющих веществ в водные объекты / ЭКОС-информ. – 1999. – № 1/2. – С. 198 - 224.

5. Губанов Л.Н., Цимбалов С.Д., Новикова О.М. О плате за негативное воздействие на окружающую среду. / Вода и экология. Проблемы и решения. – 2005. - № 2. – С. 61-70.

6. Данилович Д.А., Козлов М.Н., Богарова И.Н., Дворецкая И.С. Сравнительная оценка методов обеззараживания сточных вод / Вода и экология. Проблемы и решения. – 2002, - №1. - С. 41-48.

7. Друцкий А.В. Установка очистки ливневых сточных вод / Водоснабжение и санитарная техника. – 2001. – № 3. – С. 68-69.

8. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии.

9. Инновационная статическая методика оценки качества питьевого водоснабжения как инструмент системы управления рисками здоровью населения / Позднякова М.А. [и др.]. Медицинский альманах. 2011. №3. С. 37-39.

10. Инструкция 2.1.4.10-11-2-2005. Оценка риска здоровью населения от воздействия химических веществ, загрязняющих питьевую воду [Электронный ресурс]. – Режим доступа:http://www.levonevski.net/pravo/norm2013/num38/d38175.html (дата обращения: 05.05.2015).

11. Кашинцев М.Л., Черникова О.А., Шиленко Н.А. (Главрыбвод), Соколова С.А., Анисова С.Ю. (ВНИРО). Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно-допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. - М.: ВНИРО, 1999, С.10-261.

12. Кичигин В.И. Водоотводящие системы промышленных предприятий. Учебное пособие. – М.: Издательство АСВ, 2011. - 656 с. ISBN 978-5-93093-761.

13. Когановский, А. М. Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении / А. М. Когановский, Н. А. Клименко, Т. М. Левченко. М.: Химия, 2010. - 288 с.

14. Кротов В.Г. Справочник ПДК. - М.: АСВ, 2004 – 704 с.– ISBN 5-93093-119-4.

15. Ксенофонтов Б. С. Очистка сточных вод: флотация и сгущение осадков / Б.С. Ксенофонтов. - М.: Химия, 2011. - 144с.

16. Ксенофонтов Б.С. Проблемы очистки воды / Б.С. Ксенофонтов. - М.: Знание, 2011. - 140с.

17. Ксенофонтов Б.С. Химия и основы технологии очистки воды / Б.С. Ксенофонтов. - М.: МГИЭТ, 2010. - 187с.

18. Ксенофоптов Б.С. Очистка воды и почв флотацией / Б.С. Ксенофонтов. -М.: Новые технологии, 2011. - 223с.

19. Кузнецов А.Е. Научные основы экобиотехнологии / Н.Б. Градова, А.Е. Кузнецов. – М.: Мир, 2011.- 217с.

20. Куликова Т.П. Проблемы водной токсикологии / Т.П. Куликова. – М.: ЭКСМО, 2010. – 234с.

21. Курочкин Э.С. Основы инженерной экологии / Э.С. Курочкин. - Барнаул: АлтГТУ, 2011. - 98с.

22. Лазарев К.Г. Современные методы анализа сточных вод / К.Г. Лазарев. - М.: Луч, 2012. - 123 с.

23. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод / Ю.Ю. Лурье. - М.: Химия, 2011. - 384 с.

24. Львович М.И. Вода и жизнь / М.И. Львович. – М:Мысль, 2012. – 254с.

25. Максимовский Н.С. Очистка сточных вод / Н.С. Максимовский. - М.: Стройиздат, 2011. - 193с.

26. Малкин В.П. Технологические аспекты очистки промстоков, содержащих ионы тяжёлых металлов. - Иркутск, 2009.- С.46.

27. Мещеряков Н.Ф. Кондиционирующие флотационные аппараты и машины / Н.Ф. Мещряков. - М.: Недра, 2010. - 237с.

28. Министерство природных ресурсов РФ. Государственные доклады и программы. Государственные доклады. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации за 2013» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=1683 (дата обращения: 12.04.2015 г.).

29. Молоканов Д.А., Молчан А.В. Очистка сточных вод: комплексное решение / Экология производства. – 2006. – № 9. – С. 38 – 40.

30. Москвитин Б.А. Оборудование водопроводных и канализационных сооружений / Б.А. Москвитин, Г.М. Мирончик. - М.: ЮНИТА, 2011. – 196с.

31. Нечаев И.А. Очистка и обеззараживание поверхностной сточной воды / Материалы конгресса «Вода: Экология и технология» ЭКВАТЭК-2004. В 2-ух частях. Часть 2. – Коломна, 2006г.- С. 688 - 689.

32. Новиков М.Г. Основные тенденции в области улучшения качества очистки поверхностных вод / Вода и экология. Проблемы и решения. № 1 / 2006. – С. 8-11.

33. Пааль Л.И., Кару Я.Я., Мельдер Х.А., Репин Б.Н. Справочник по очистке природных и сточных вод. – М.: Высш. школа, 2005. – С. 336.

34. Пальгунов Н.В. Очистка сточных вод мясоперерабатывающих заводов / Н.В. Пальгунов, А.Н. Абрамов. – М.: Луч, 2010. – 405с.

35. Пваменко А. И. Физико-химическая очистка и повторное использование сточных вод / А. И. Пваменко, В. В. Отлешов, Ю. А. Коваленко. М.: Пищевая промышленность, 2010. – 122с.

36. Пономарев В.Г., Боев В.Ф., Чучалин И.С., Порхачев В.Н., Хананов Р.Г. Новые сооружения для физико-химической очистки нефтесодержащих сточных вод / Вода и экология. Проблемы и решения. – 2007.– № 1. – С. 38 – 42.

37. Пономарев В.Г., Чучалин И.С., Зильберман Р.Р. Очистка поверхностного стока / Вода и экология. Проблемы и решения. – 2008. – № 2. – С. 16 – 22.

38. Попкович Г.С. Системы аэрации сточных вод / Г.С. Попкович, Б.Н. Репин. – М.: ВИНИТИ, 2012. – 316с.

39. Роговская Ц.И. Биохимический метод очистки производственных сточных вод / Ц.И. Роговская. - М., Стройиздат, 2010. – 129с.

40. Роев Г.А. Очистные сооружения. Охрана окружающей среды / Г.А. Роев. - М.: Недра, 2010. – 168с.

41. Ротмистров М.Н. Микробиология очистки сточных вод / М.Н. Ростмиров. - Киев: Наукова Думка, 2011. - 268 с.

42. Рудник М.И., Кичигин О.В. Новые технологии и оборудование для флотационной очистки сточных вод / Экология производства. – 2006. – № 1. – С. 63 – 66.

43. Рудник М.И., Кичигин О.В., Рудько В.Г. Технологии и оборудование для глубокой доочистки сточных вод / Экология производства.– 2006. – № 9. – С. 43-45.

44. Сапожникова В.А. Экологически безопасное обращение с отходами на предприятии/ В.А. Сапожникова //Берг-коллегия: Промышленная безопасность. Энергетика. Экология. - 2010. - Прил. к № 4. – 327 с.

45. Соколова В.Н. Охрана производственных сточных вод и утилизация осадков / В.Н. Соколова. - М.: Стройиздат, 2012. - 340 с.

46. Технологический регламент «цеха водоснабжения и водоочистки участка БОС на эксплуатацию сооружений по очистке сточных вод» . – 2006. – С.3–11

47. Трушин Т.П. Экологические основы природопользования / Т.П. Трушин - Ростов на Дону: Феникс, 2011. - 384 с.

48. Туровский И.С. Обработка осадков сточных вод / И.С. Туровский. - М.: Стройиздат, 2010. - 130 с

49. Федеральный закон «Водный кодекс Российской Федерации» №74-ФЗ.

50. Федеральный закон «Кодекс РФ об административных нарушениях» № 195-ФЗ.

51. Финов В.П. Эффективность физико-химических методов очистки сточных вод / В.П. Финнов. – М.: Мир, 2010. – 190с.

52. Форстер К.Ф. Экологическая биотехнология / К.Ф. Фостер. - М.: Колос, 2010. - 189с.

53. Цыганкова С.П. Биологическая очистка сточных вод предприятий пищевой промышленности / С. П. Цыганкова. - М.: Мир, 2012. - 420 с.

54. Челноков А.А. Основы промышленной экологии / А. А. Челноков. - Минск: Технопринт, 2011 - 85 с.

55. Шевцов В.Н., Верещагина Л.М. Особенности расчета производительности очистных сооружений поверхностных сточных вод / Водоснабжение и санитарная техника. – 2006. – № 2. – С. 17 – 20.

56. Шлегель Г. Общая микробиология / Г. Шлегель. - М.: Мир, 2012. - 175с.

57. Юшманова О.А. Комплексное использование и охрана водных ресурсов / О.А. Юшманова. - М.: Агропромиздат, 2011. - 220 с.

58. Яковлев С.В. Биохимические процессы в очистке сточных вод / С.В. Яковлев, Т.А. Карюхина. – М.: Стройиздат, 2011. – 239с.

59. Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод / С.В. Яковлев, Ю.В. Воронов. – М.: ИАСВ, 2010. – 122с.

60. Яковлев С.В. Очистка производственных сточных вод / С.В. Яковлев, И.В. Скирдов. – М.: Стройиздат, 2010. – 267с.