

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Химическая технология и ресурсосбережение»

(наименование)

18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии  
нефтехимии и биотехнологии»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Рациональное природопользование, рециклинг и утилизация отходов

(направленность (профиль))

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Разработка магнитного сепаратора для обеспечения стабильности процесса подачи агрессивных сред в цехе 03А ПАО «ТООАЗ»

Студент

Н. А. Генетова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Ю.Н. Шевченко

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

## Аннотация

Бакалаврскую работу выполнила Тенетова Наталья Александровна.

Тема бакалаврской работы: Разработка магнитного сепаратора для обеспечения стабильности процесса подачи агрессивных сред в цехе 03А ПАО «ТОАЗ».

Руководитель: Шевченко Юлия Николаевна.

Бакалаврская работа выполнена на 47 страницах, включает 13 рисунков, 5 таблиц, а также 37 источников литературы.

Объектом исследования является узел регенерации в цехе химводоочистки (ХВО), который входит в состав установки деминерализации (обессоливания воды) ХВО №1 и №2 (кор.241, 291) агрегатов аммиака фирмы «Кемико» на химическом предприятии ПАО «ТОАЗ».

В ходе написания работы рассмотрена установка дополнительного оборудования (фильтра) для очистки серной кислоты, используемой в качестве основного реагента в процессе регенерации катионитовых и анионитовых фильтров.

Проведены расчеты материального баланса узла регенерации, рассмотрены варианты конструкции фильтра.

Бакалаврская работа выполнена в текстовом редакторе MicrosoftWord и представлена на электронном носителе

## Содержание

Введение .....	4
1 Теоретические основы получения деминерализованной воды.....	6
1.1 Общая характеристика производства деминерализованной воды.....	6
1.2 Описание технологического процесса получения деминерализованной воды на ПАО «ТОАЗ».....	7
1.2.1 Обработка воды на он – анионитовых фильтрах і ступени.....	11
1.2.2 Регенерация он- анионитовых фильтров поз. Ф-11/1-5.....	11
1.2.3 Декарбонизация .....	12
1.3 Существующая технологическая схема подачи серной кислоты для обеспечения работы химводоочистки (хво) на агрегатах производства аммиака.....	15
2 Описание проблемы исследования .....	17
2.1 Теоретические основы коррозии металлов .....	17
2.2 Необходимость установки фильтра серной кислоты .....	21
2.2.1 Магнитная сепарация .....	21
2.2.2 Осаждение .....	25
2.3 Анализ существующего рынка магнитных сепараторов и механических фильтров .....	25
3 Расчетная часть.....	33
3.1 Расчет материального баланса.....	33
3.2 Расчет фильтра.....	36
3.3 Определение потерей напора, кавитационного запаса системы.....	38
Заключение .....	43
Список используемой литературы и используемых источников .....	44

## Введение

«Деминерализация осветленной воды на ПАО «ТОАЗ», поступающей из цеха осуществляется методом ионного обмена на катионитовых и анионитовых фильтрах с промежуточной декарбонизацией и последующим глубоким обессоливанием на фильтрах смешанного действия» [4]. Деминерализация воды осуществляется в один технологический поток, при этом на ступенях ионного обмена предусмотрена параллельно работа 4-х однотипных фильтров с выдачей воды в общий коллектор. «ХВО предназначена для получения деминерализованной воды, используемой при получении питательной воды для вспомогательных котлов и котлов-утилизаторов агрегатов аммиака 1, 2, 3, 4 цехов 01А, 03А» [1]. Ионный обмен является одним из основных способов умягчения, опреснения и обессоливания вод, а также способом рекуперации растворенных ионных компонентов. Ионообменный метод обработки минерализованных вод является на самом распространенным способом получения технической, питательной воды на предприятиях и энергетических комплексах.

Для регенерации катионитовых и анионитовых фильтров используется серная кислота.

«Концентрированная серная кислота является сильным окислителем. Она окисляет металлы, стоящие в ряду напряжений до серебра включительно, а продукты реакции зависят от условий ее проведения и активности самого металла» [2].

«Выпускается кислота нескольких сортов, в зависимости от чистоты и концентрации: аккумуляторная (самая чистая), техническая, башенная, купоросное масло, олеум (раствор серного ангидрида в серной кислоте)» [2].

Чтобы продлить срок службы насосов и другой техники взаимодействующей с агрессивной средой (серная кислота), а также очистить ее от примесей, тем самым улучшить ее свойства и снизить время

регенерации, необходимо подобрать дополнительное оборудование с покрытием из полимеров.

Основной задачей данной работы является оптимизация узла регенерации.

Цель работы: снижение времени регенерации, в следствии чего уменьшение расхода серной кислоты, определение конструкции дополнительного оборудования для очистки серной кислоты из современных материалов для агрессивных сред.

В рамках поставленной цели решались следующие задачи:

- провести анализ технологических процессов, в которых используются агрессивные среды на производстве деминерализованной воды. Обозначить проблему подбора материалов оборудования фильтрации и сепарации в концентрированных агрессивных средах.

- подбор оборудования - магнитного сепаратора для трубопроводов агрессивных сред футерованного полимерными материалами.

- провести материальный и экономический расчет процесса регенерации.

# 1 Теоретические основы получения деминерализованной воды

## 1.1 Общая характеристика производства деминерализованной воды

«Ионный обмен является одним из основных способов умягчения, опреснения и обессоливания вод, а также способом рекуперации растворенных ионных компонентов. Ионный обмен (ионообменная сорбция) - процесс обмена между ионами, находящимися в растворе, и ионами, присутствующими на поверхности твердой фазы (ионита). Это извлечение из сточных вод загрязнений с помощью ионитовых фильтров. Иониты подразделяются на природные и искусственные (синтетические). Они заполняются синтетической ионообменной смолой, цеолитами» [3].

«Ионообменный метод обработки минерализованных вод является на сегодняшний день самым распространенным способом получения технической, питательной и подпиточной воды на предприятиях и энергетических комплексах. Он основан на последовательном осуществлении процессов катионирования и анионирования с использованием зернистых ионообменных материалов. При катионировании, содержащиеся в воде катионы заменяются на ионы  $H^+$ ,  $Na^+$ , или  $NH_4^+$ , а в процессе анионирования, содержащиеся в воде анионы заменяются на ионы  $OH^-$  или  $Cl^-$ .

Все процессы протекают последовательно в фильтрах, которые разделяются по типу содержащихся в них ионообменных смол на катионитовые (Na-катионитовые и т.д.), анионитовые (ОН-анионитовые), и фильтры смешанного действия (ФСД); а также на фильтры первой и второй ступени» [3].

«При подготовке добавочной воды основных циклов современных энергетических комплексов и технологических аппаратов наиболее широко используется метод обессоливания воды, основанный на последовательном осуществлении процессов H-катионирования и OH-анионирования.

В процессе катионирования содержащиеся в воде катионы заменяются на ионы  $H^+$ ; в процессе ОН-анионирования содержащиеся в воде анионы заменяются на ионы  $OH^-$ . Взаимодействуя друг с другом, ионы  $H^+$  и  $OH^-$  образуют молекулы  $H_2O$ » [4].

«Недостатком описанной технологии являются высокая себестоимость получения питательной воды для котлов из-за больших расходов химических реагентов, смол на очистку воды и использования солей и кислот на регенерацию фильтров со сбросом отработанных отмывочных вод в окружающую среду» [5].

## **1.2 Описание технологического процесса получения деминерализованной воды на ПАО «ТОАЗ»**

Обработка воды на Н- катионитовых 2-х корпусных блоках катионитовые блоки объединены Н- фильтры.

«Осветленная вода из цеха 12 ХВО с общим расходом до  $500 \text{ м}^3/\text{ч}$  и температурой  $30 \pm 1^\circ\text{C}$ , замеряемых расходомером, поступает в бак осветленной воды. Кроме того, в бак подаются: обратная охлаждающая вода от подшипников насосов агрегатов аммиака; подшипников турбоприводов насосов и вентиляторов котлов; холодильников пробоотборных точек котлов, конденсат с бойлерной установки (в зимнее время), конденсат с воздухоподогревателей котлов, продувочные воды агрегатов аммиака, отмывочная вода фильтров (при регенерациях)» [1].

«Из бака поз. I -601 исходная вода центробежными насосами подается:

- на подпитку бойлерной установки,
- на Н - катионитовые блоки,
- в зимнее время на охлаждение подшипников и рубашек охлаждения электродвигателей насосов» [1].

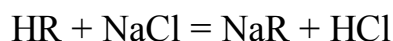
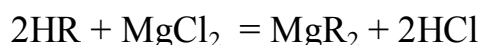
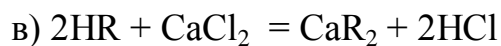
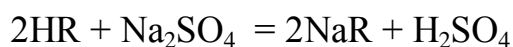
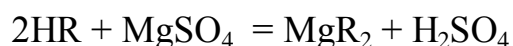
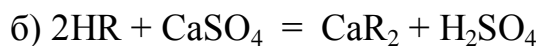
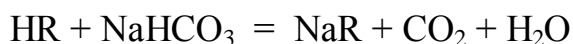
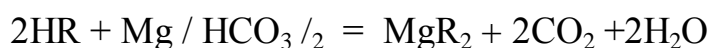
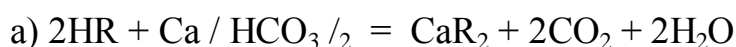
«Фильтр представляет собой вертикальный цилиндрический сосуд со сферическим днищем. В фильтре имеются верхнее и нижнее дренажно-

распределительные устройства (ДРУ). Нижнее ДРУ предназначено для отвода обработанной воды, отработанного регенерационного раствора и отмывочных вод, а также равномерного распределения воды по площади фильтра при взрыхлении катионита. Нижнее ДРУ выполнено из горизонтально расположенного коллектора с лучами» [1].

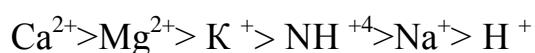
К лучам вертикально вниз навинчены штуцера с резьбой, на которые наворачиваются дренажные щелевые колпачки (0,2 - 0,35 мм). Штуцера имеют разную длину, благодаря чему дренажно-распределительная система в целом приближенно повторяет форму сферического днища.

«Верхнее ДРУ предназначено для равномерного распределения по площади фильтра обрабатываемой воды и регенерационного раствора, а также отвода воды при взрыхлении катионита. Верхнее ДРУ состоит из центрального стакана» [6].

При фильтровании воды через отрегенированный катионит происходит ионный обмен в соответствии со следующими уравнениями:



«Процесс поглощения катионов зависит от их активности. Из-за различной активности катионов поглощения их ионитом происходит избирательно» [7]. Более активные к адсорбции ионы, способны вытеснять менее активные. Для катионов справедлив так называемый ряд поглощения:





В данном ряду каждый предыдущий катион более активно поглощается, чем последующий.

«Н - катионированная вода имеет кислые свойства, рН снижается до 2,8 -3,5. В процессе обработки катионит постепенно насыщается катионами и поглощательная способность его значительно снижается. При проскоке в фильтрат катиона Na более 1 мг/дм<sup>3</sup> фильтр отключается на регенерацию» [7].

В сутки на 4-х катионитовых блоках проводится до 2,2 регенераций. Открытие клапанов на фильтрах при регенерации производится автоматически с помощью «Программатора».

1 операция - взрыхление катионита в фильтрах поз. R-601.

Взрыхление предназначено для удаления измельченных водой зерен катионита, разрушения образовавшихся каналов в смоле и удаления скопившегося на поверхности ионита шлама. Взрыхление катионита производится подачей кислой воды повторного использования (КВП) в течение 20 мин. расходом до 100 м<sup>3</sup>/ч. КВП подается в нижнюю часть фильтра и сбрасывается через верхнее ДРУ в дренаж через клапан.

При необходимости взрыхление можно производить осветленной водой от нагнетательного коллектора.

2 операция - взрыхление катионита в фильтрах поз. Ф- 2/1-4.

Операция производится аналогично фильтрам поз. R-601. Продолжительность 60 мин., расход до 130 м<sup>3</sup>/ч. КВП подается в нижнюю часть фильтра и сбрасывается в дренаж.

3 операция - пропуск регенерационного раствора серной кислоты. «Подача регенерационного раствора серной кислоты осуществляется по схеме R - 601, Ф- 2 в два этапа последовательно через клапаны и сбросом в дренаж. На первом этапе в течение 30 минут пропускается регенерационный раствор с массовой долей серной кислоты 1,5 % во избежание выпадения сульфата кальция в осадок («гипсование» катионита)» [1].

Регенерационный раствор готовится в эжекторе - смесителе, куда подается разбавляющая осветленная вода. Серная кислота с массовой долей 92,5 % подается в эжектор - смеситель С -13 из бака - мерника поз.Е-17/1,2.

Массовую долю серной кислоты в регенерационном растворе, после эжектора-смесителя поз. Э/С-13 определяет оператор по плотности, измеряемой ареометром со шкалой 1,000- 1,060. Плотность 1,5% раствора серной кислоты 1,010; плотность 3% р-ра серной кислоты - 1,020 при 20°С.

Поступление 92,5 % серной кислоты в эжектор-смеситель поз. Э/С -13 происходит за счет разрежения в эжекторе.

На втором этапе пропускается регенерационный раствор с массовой долей серной кислоты 3 % расходом 90 м<sup>3</sup>/ч в течение 30 минут. Увеличение концентрации регенерационного раствора производится оператором путем приоткрытия диафрагменного вентиля на трубопроводе 92,5 % серной кислоты перед эжектором - смесителем поз. Э/С-13 с контролем массовой доли серной кислоты с помощью ареометра.

Регенерационный раствор готовится в эжекторе - смесителе поз. Э/С-13, куда подается разбавляющая осветленная вода. Серная кислота с массовой долей 92,5 % подается в эжектор - смеситель поз. Э/С-13 из бака - мерника поз.Е-17/1,2.

4 операция - вытеснение регенерационного раствора.

Вытеснение производится осветленной водой по линии регенерации в течение 35 минут расходом 90 м<sup>3</sup>/ч в дренаж.

5 операция - отмывка фильтра поз. Ф-2. Отмывка фильтра Ф-2 производится подачей осветленной воды через клапан и сбросом через клапан в дренаж.

6 операция - отмывка в бак повторного использования поз. Е-3. Отмывка производится подачей осветленной воды через клапаны и сбросом в бак поз. Е-3. При необходимости отмывка может производиться в бассейн нейтрализации.

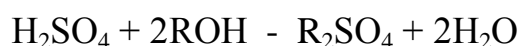
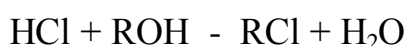
### 1.2.1 Обработка воды на ОН – анионитовых фильтрах I степени

Н - катионированная вода, освобожденная от катионов, поступает в ОН - анионитовые фильтры, предназначенные для очистки от анионов сильных кислот / Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> /.

«Фильтр поз. Ф-11 представляет собой колонный аппарат с подачей воды сверху и выходом воды снизу. По конструкции фильтры поз. Ф-11 аналогичны фильтрам поз. Ф-2» [1].

«Фильтры поз. Ф-11/1-5 загружены слабоосновным анионитом MWA-1 или аналогом. Высота фильтрующего слоя в фильтрах- 2 м. Объем загруженной смолы- 14,2 или 17,3 м<sup>3</sup> в зависимости от размеров фильтра. Фильтроцикл фильтра поз. Ф-11 составляет 2500 м<sup>3</sup> обработанной воды» [1].

«В фильтрующем слое анионитовых фильтров происходят следующие химические реакции обмена» [8]:



«В результате ионного обмена рН воды повышается до 5,5- 6, а электропроводность снижается на 36 мксим/см. В процессе обработки анионит MWA-1 насыщается анионами, при этом начинает повышаться электропроводность, которая контролируется по кондуктометру CIA-102. При проскоке в фильтрат аниона Cl<sup>-</sup> более 3,5 мг/дм<sup>3</sup> фильтр отключается на регенерацию» [1].

### 1.2.2 Регенерация ОН- анионитовых фильтров поз. Ф-11/1-5

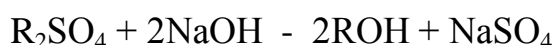
В сутки на 5-ти анионитовых фильтрах проводится 3,6 регенераций

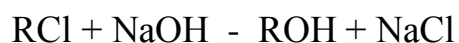
1 операция - взрыхление ОН - анионитовых фильтров. Взрыхление производится щелочной водой повторного использования, подаваемой из бака поз. Е- 10 насосом поз. Н- 8/ 7 [1].

2 операция - оседание анионита в течение 6 мин. Все клапаны закрыты.

3 операция - регенерация анионитовой смолы MWA-1[1].

При регенерации происходят следующие химические реакции [9]:





Регенерационный раствор щелочи готовится в смесителе поз. Э/С-14. Раствор щелочи с массовой долей едкого натра 42 % из баков-мерников поз. Е- 16/1,2 за счет энергии воды подается в эжектор-смеситель поз. Э/С-14, где смешивается со щелочной водой повторного использования, подаваемой из бака поз. Е- 10 насосом поз. Н-7 / 8.

4 операция - вытеснение раствора щелочи. Вытеснение предназначено для более глубокого проведения регенерации и промывки технологических трубопроводов от щелочи. Вытеснение производится щелочной водой повторного использования.

5 операция - отмывка анионита от избытка регенерационного раствора. Отмывка производится Н - катионированной водой со сбросом воды в нейтрализатор.

6 операция - отмывка в бак повторного использования поз. Е- 10. Отмывка производится Н - катионированной водой и сбросом воды.

7 операция - доотмывка в бак осветленной воды поз. I- 601 [1].

### **1.2.3 Декарбонизация**

«Вода, освобожденная от катионов и анионов сильных кислот с рН 5- 6 поступает после фильтров поз. Ф- 11/1-5 в декарбонизатор поз. R- 602 для удаления свободной углекислоты (CO<sub>2</sub>)» [1]. «Растворимость газа в воде прямо пропорциональна парциальному давлению газа над водой. Создавая над поверхностью воды возможно более низкое парциальное давление углекислоты, можно свести до минимума содержание CO<sub>2</sub> в воде. Для этого насадка декарбонизатора продувается потоком воздуха» [9].

«Декарбонизатор представляет собой колонну высотой 3965мм диаметром 2440мм. Внутри находятся пластмассовые седла «Суперинталокс». Вода подается сверху, а снизу под слой насадки подается воздух от вентилятора поз. К- 603 производительностью 12000 м<sup>3</sup>/ч и напором 120 мм.вод.ст» [1]. «В результате происходит разложение угольной кислоты по реакции» [10]:  $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$  с удалением CO<sub>2</sub>

«Массовая доля  $\text{CO}_2$  в декарбонизованной воде определяется аналитическим путем и должна быть не более  $5 \text{ мг/дм}^3$ . Декарбонизованная вода стекает в бак емкостью  $32 \text{ м}^3$ , на котором смонтирована башня декарбонизатора.

Из бака вода поступает во всасывающий коллектор насосов поз. J-602/А, В, С, Д производительностью до  $180 \text{ м}^3/\text{ч}$  каждый, которые подают воду на ОН - анионитовые фильтры 2 ступени поз. R-603/А, В, С, Д» [1].

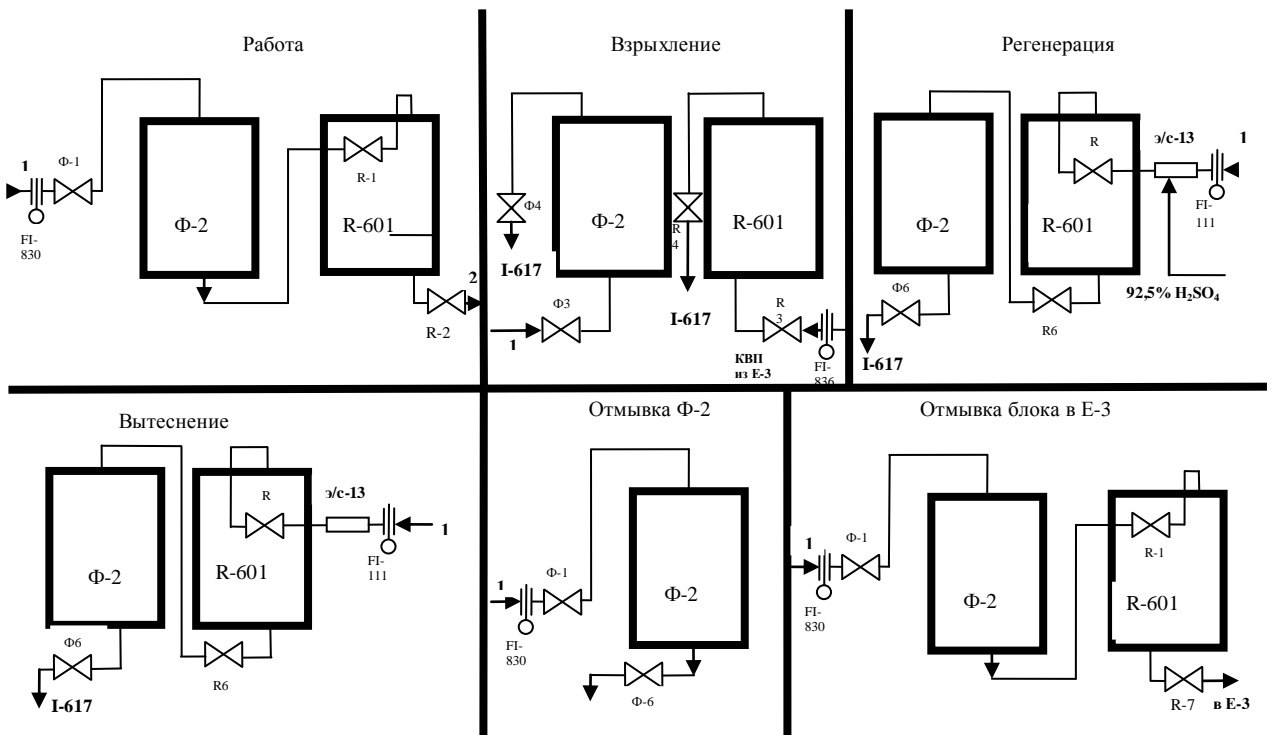


Рисунок 1 а - Регенерация Н - катионитовых блоков поз.ФR - 1Д, 2А, 3В, 4С

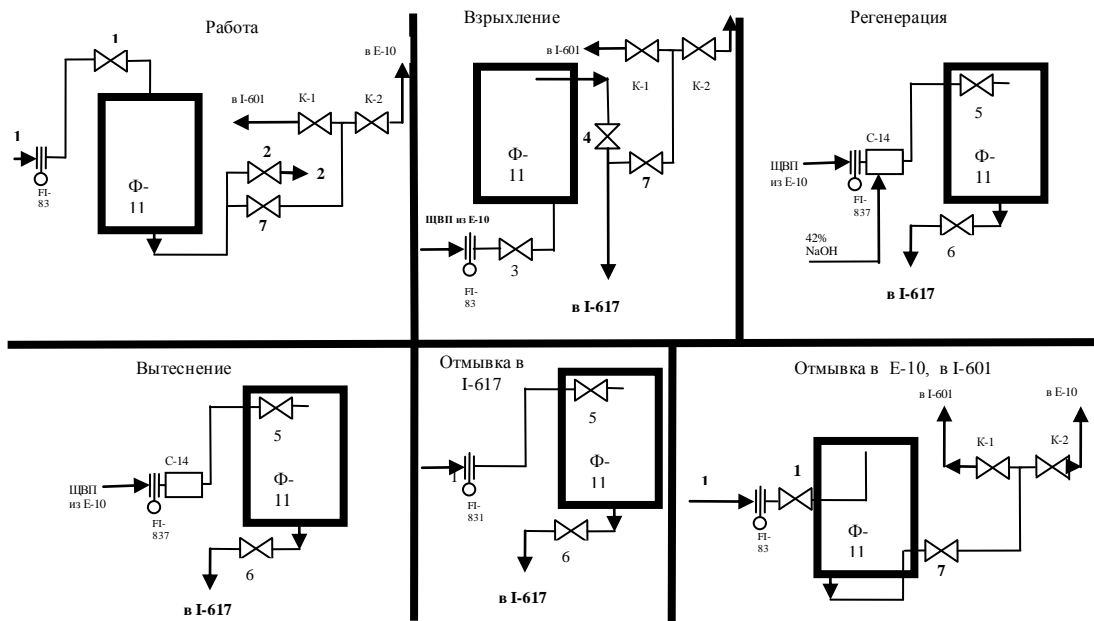


Рисунок 1 б - Регенерация ОН - анионитовых фильтров поз. Φ- 11/1-5

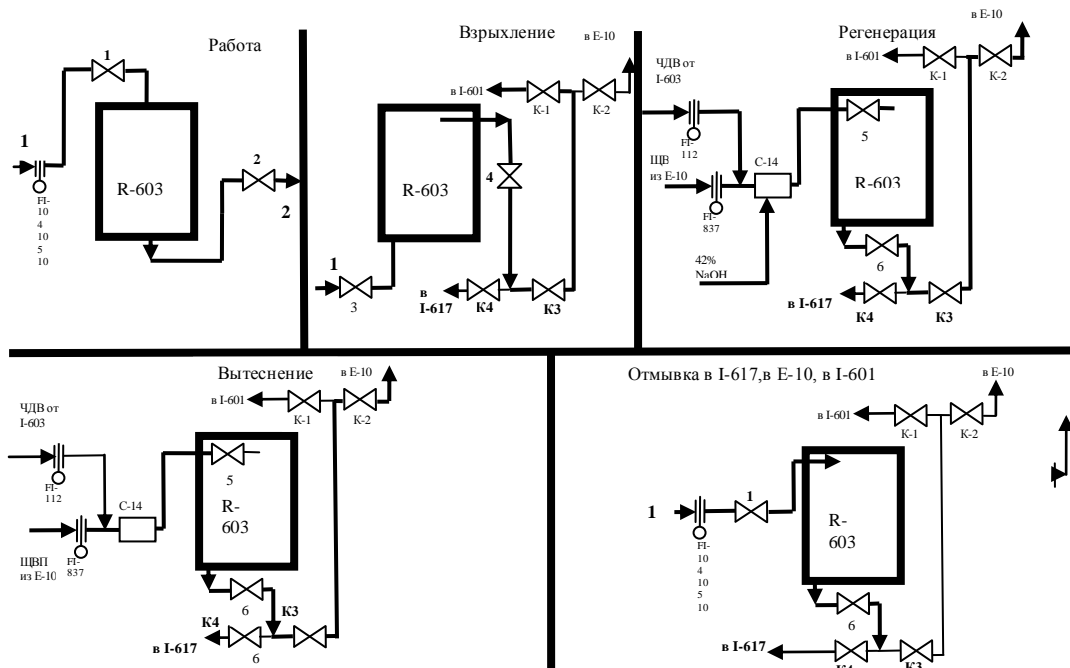


Рисунок 1 в - Регенерация ОН-анионитовых фильтров 2 ступени поз. R-603 А, В, С, D

### **1.3 Существующая технологическая схема подачи серной кислоты для обеспечения работы химводоочистки (ХВО) на агрегатах производства аммиака**

Подача серной кислоты осуществляется по схеме (рисунок 2). Наполнение в накопительную емкость поз. I-612 серной кислоты возможно из цеха 16 (склад кислоты и щелочи) или из автобойлера с последующей перекачкой насосами на нужды цеха химводоочистки (а именно в смесители и в эжекторы смешения поз. Э/С-13).

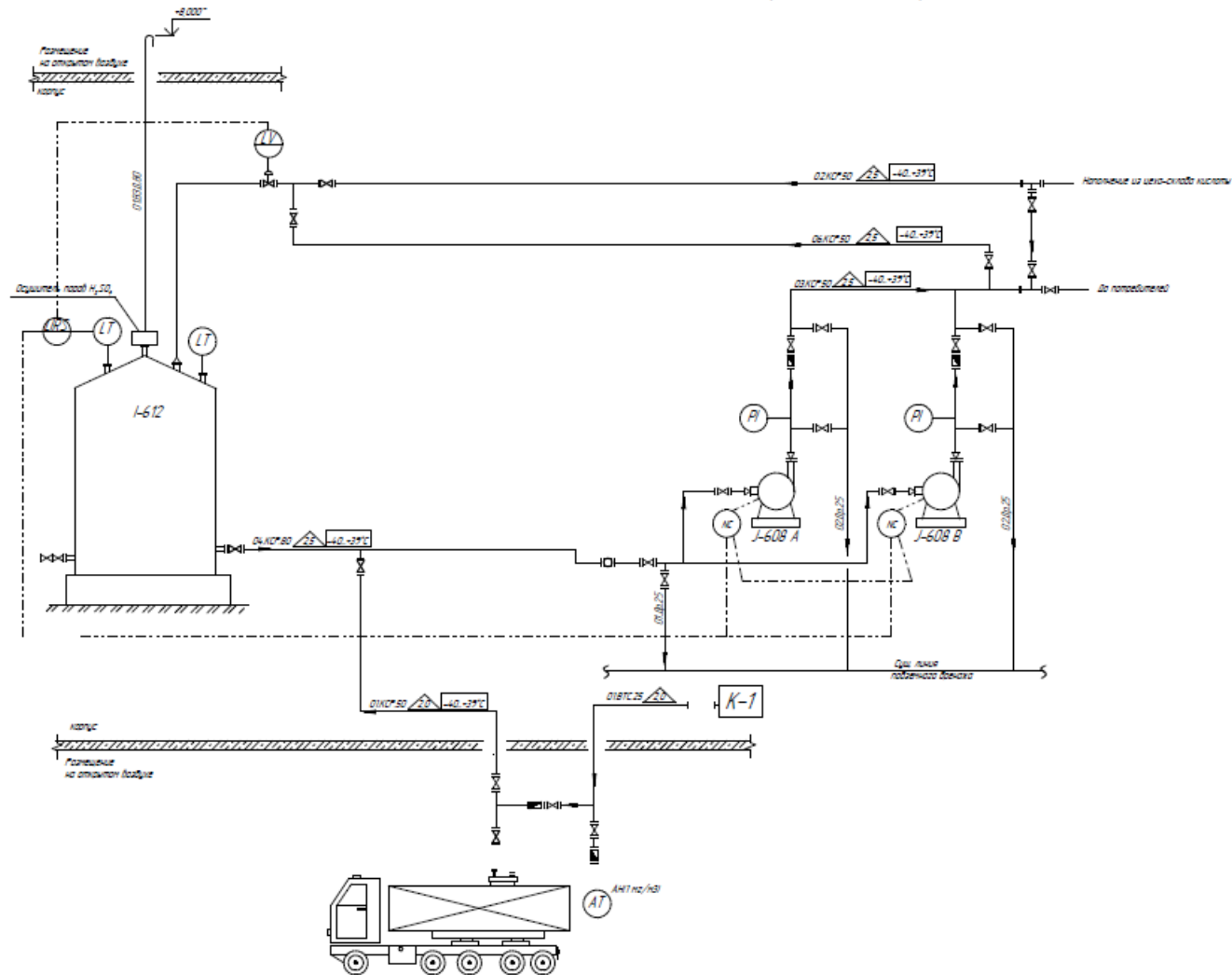
Далее происходит подача регенерационного раствора серной кислоты по схеме R- 601, Ф- 2 в два этапа последовательно. На первом этапе пропускается регенерационный раствор с массовой долей серной кислоты 1,5 % во избежание выпадения сульфата кальция в осадок.

На втором этапе пропускается регенерационный раствор с массовой долей серной кислоты 3 % расходом 90 м<sup>3</sup>/ч. Увеличение концентрации регенерационного раствора производится оператором путем приоткрытия диафрагменного вентиля на трубопроводе 92,5 % серной кислоты перед эжектором - смесителем поз. Э/С- 13 с контролем массовой доли серной кислоты с помощью ареометра. Регенерационный раствор готовится в эжекторе - смесителе поз. Э/С-13, куда подается разбавляющая осветленная вода. Серная кислота с массовой долей 92,5 % подается в эжектор- смеситель поз. Э/С- 13 из бака- мерника поз. Е-17/1,2 [1].

Выводы по разделу 1:

- рассмотрена общая характеристика получения деминерализованной воды ионообменным методом;
- предоставлена схема получения деминерализованной воды, реализованная на предприятии ПАО «ТОАЗ»;
- описан технологический процесс регенерации фильтров серной кислотой и рассмотрена существующая схема подачи H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> на регенерацию.

Монтажно-технологическая схема обеспечения стабильности процесса подачи серной кислоты в цехе №03А ПАО "ТОАЗ"



Спецификация

Поз	Наименование	Кол-во	Характеристики	Получение
I-612	Танк хранения 92% серной кислоты	1	DN672mm H=877mm	
K-1	Помпелло насосный компрессор	1	Тип ЕПМ 24-240	
J-608 AB	Насос для серной кислоты	2	N-500BT 0-240 л/мин Тип КМ 0/25B-A-80B DN12 л/сек H=28 м $P_{max} = 63 \text{ кгс/см}^2$ N-75 кВт n=3000 об/мин	

Рисунок 2 – Принципиальная схема подачи серной кислоты



## 2 Описание проблемы исследования

### 2.1 Теоретические основы коррозии металлов

Концентрированная серная кислота- сильный окислитель за счёт серы в степени окисления +6. «Концентрированная серная кислота окисляет многие металлы, в том числе расположенные в электрохимическом ряду напряжений после водорода. При этом, чем активнее металл, тем глубже протекает восстановление серы» [11].

«Агрессивная среда - это природная или технологическая среда любого агрегатного состояния, способная вступать в химическое взаимодействие с окружающими ее материалами или конструкциями, приводя их в состояние, при котором они не могут в дальнейшем выполнять свое функциональное назначение. Агрессивная среда должна рассматриваться в сочетании с материалом, поскольку для одного материала среда является агрессивной, для другого- неагрессивной (например, соляная кислота, которая по отношению к железу является агрессивной, а по отношению к стеклу- неагрессивной)» [12].

Агрессивная среда иначе называется коррозионно-активной средой. В зависимости от скорости коррозии эта среда делится на группы:

- весьма агрессивная – при скорости коррозии более 10 мм/год;
- сильно агрессивная – от 1 до 10 мм/год,
- агрессивная – от 0,1 до 1,0 мм/год,
- умеренно агрессивная – от 0,01 до 0,10 мм/год,
- малоагрессивная – от 0,001 до 0,010 мм/год,
- неагрессивная – менее 0,001 мм/год.

«При воздействии агрессивной среды на технологические аппараты, резервуары и трубопроводы могут образовываться пиррофорные вещества (например, сульфиды железа), которые при соприкосновении с воздухом (при опорожнении аппаратов) могут привести к пожару. Поэтому для

обеспечения пожарной безопасности принципиальное значение имеет правильный выбор конструкционных материалов для технологических аппаратов» [12].

В трубопроводах подачи серной кислоты на ПАО «ТОАЗ», образующийся сульфид железа оказывает пагубное влияние на состояние насосного оборудования и сам процесс регенерации. Для того, чтобы избежать образования примесей данным проектом рассмотрим варианты решения данной проблемы.

Материалы из металлов под химическим или электрохимическим воздействием окружающей среды подвергаются разрушению, которое называется коррозией. «Коррозия металлов вызывается окислительно-восстановительными реакциями, в результате которых металлы переходят в окисленную форму и теряют свои свойства, что приводит в негодность металлические материалы» [13].

Можно выделить 3 признака, характеризующих коррозию:

- коррозия- это с химической точки зрения процесс окислительно-восстановительный;

- коррозия- это самопроизвольный процесс, возникающий по причине неустойчивости термодинамической системы металл-компоненты окружающей среды;

- коррозия- это процесс, который развивается в основном на поверхности металла. Однако, не исключено, что коррозия может проникнуть и вглубь металла.

«Наиболее часто встречаются следующие виды коррозии металлов (см. рисунок 3)» [13]:

- Равномерная- охватывает всю поверхность равномерно;
- Неравномерная,
- Избирательная,
- Местная пятнами- корродируют отдельные участки поверхности;
- Язвенная (или питтинг);

- Точечная;
- Растрескивающая;
- Подповерхностная.

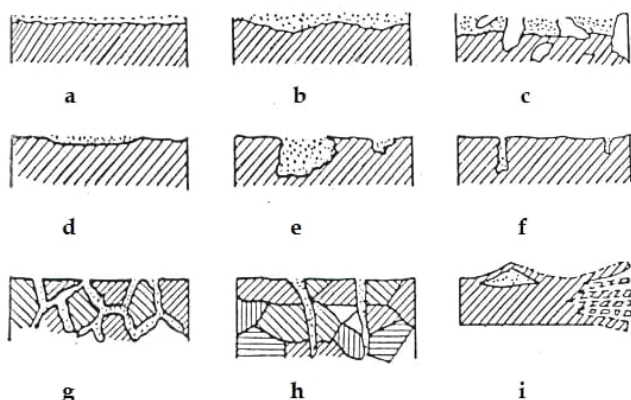


Рисунок 3 - Виды коррозии металлов

«С точки зрения механизма коррозионного процесса можно выделить два основных типа коррозии: химическую и электрохимическую» [14].

Химическая коррозия металлов - это результат протекания таких химических реакций, в которых после разрушения металлической связи, атомы металла и атомы, входящие в состав окислителей, образуют химическую связь.

Электрический ток между отдельными участками поверхности металла в этом случае не возникает. Такой тип коррозии присущ средам, которые не способны проводить электрический ток - это газы, жидкие неэлектролиты.

«Химическая коррозия металлов бывает газовой и жидкостной. Газовая коррозия металлов - это результат действия агрессивных газовых или паровых сред на металл при высоких температурах, при отсутствии конденсации влаги на поверхности металла. Это, например, кислород, диоксид серы, сероводород, пары воды, галогены. Такая коррозия в одних случаях может привести к полному разрушению металла (если металл активный), а в других случаях на его поверхности может образоваться защитная пленка (например, алюминий, хром, цирконий)» [13].

Жидкостная коррозия металлов- может протекать в таких неэлектролитах, как нефть, смазочные масла, керосин и др. Этот тип коррозии при наличии даже небольшого количества влаги, может легко приобрести электрохимический характер.

При химической коррозии скорость разрушения металла пропорциональна скорости химической реакции и той скорости, с которой окислитель проникает сквозь пленку оксида металла, покрывающую его поверхность. Оксидные пленки металлов могут проявлять или не проявлять защитные свойства, что определяется сложностью.

Электрохимическая коррозия — металлов- это процесс разрушения металлов в среде различных электролитов, который сопровождается возникновением внутри системы электрического тока.

Методы защиты от коррозии металла. Основной способ защиты от коррозии — металла- это создание защитных покрытий- металлических, неметаллических или химических.

«Металлические покрытия. Металлическое покрытие наносится на металл, который нужно защитить от коррозии, слоем другого металла, устойчивого к коррозии в тех же условиях. Если металлическое покрытие изготовлено из металла с более отрицательным потенциалом (более активный), чем защищаемый, то оно называется анодным покрытием. Если металлическое покрытие изготовлено из металла с более положительным потенциалом (менее активный), чем защищаемый, то оно называется катодным покрытием» [15].

Например, при нанесении слоя цинка на железо, при нарушении целостности покрытия, цинк выступает в качестве анода и будет разрушаться, а железо защищено до тех пор, пока не израсходуется весь цинк. Цинковое покрытие является в данном случае анодным. Катодным покрытием для защиты железа, может, например, быть медь или никель. При нарушении целостности такого покрытия, разрушается защищаемый металл.

Неметаллические покрытия. Такие покрытия могут быть неорганические (цементный раствор, стекловидная масса) и органические (высокомолекулярные соединения, лаки, краски, битум).

Химические покрытия. «В этом случае защищаемый металл подвергают химической обработке с целью образования на поверхности пленки его соединения, устойчивой к коррозии» [16].

## **2.2 Необходимость установки фильтра серной кислоты**

С каждым годом ужесточаются требования к качеству воздуха в помещениях, где обращаются кислоты и щелочи, с целью заботы о рабочем персонале и улучшения качества воздуха в рабочей зоне. Поэтому в цехах хранения концентрированных кислот и щелочей устанавливаются герметичные насосы, чтобы уменьшить количество паров кислот и щелочей, возникающих при и перекачке.

Конструкция герметичных насосов полностью исключают протечку в атмосферу перекачиваемой среды, перемещение которой осуществляется центробежными силами.

«Согласно требованиям, п.4.2.2 ГОСТ 34252-2017 (Насосы центробежные герметичные. Технические требования) необходимо избегать использования жидкостей, содержащих ферромагнитные частицы, если не предусмотрен эффективный метод их удаления» [25]. Рассмотрим способы очистки серной кислоты от ферромагнитных частиц.

### **2.2.1 Магнитная сепарация**

Чтобы исключить попадание частиц в серной кислоте в насосное оборудование и фильтровальное оборудование (анионитовые и катионитовые фильтры) в процессе регенерации, а также для повышения степени чистоты кислоты и уменьшения времени регенерации возможно применение магнитных фильтров (сепараторов), устанавливаемых на трубопроводе серной кислоты.

«Магнитная сепарация - процесс разделения твердых материалов в магнитном поле, основанный на использовании различий в их магнитных свойствах (главным образом в магнитной восприимчивости)» [17]. «Магнитную сепарацию широко применяют при обогащении отходов производства и потребления, при обогащении руд (железных, марганцевых, титановых, медно-никелевых, вольфрамовых, редкометальных), для удаления железистых примесей из кварцевых песков, для регенерации ферромагнитных утяжелителей в установках для разделения материалов в тяжелых суспензиях. Магнитному обогащению подвергается обычно материал крупностью  $-200+0,1$  мм» [18].

Для магнитного обогащения важное значение имеет способность разделяемых компонентов к намагничиванию, которая характеризуется магнитной восприимчивостью. «Магнитная восприимчивость  $X$  вещества характеризует связь между намагниченностью  $J$  (магнитным моментом  $M$  вещества, отнесенным к его объему  $V$ ) и напряженностью магнитного поля  $H$  в этом веществе:  $X = J / H$

По магнитным свойствам (по способности намагничиваться во внешнем магнитном поле) все вещества делятся на диамагнитные, парамагнитные и ферромагнитные. Принадлежность вещества к той или иной группе определяют процессы в атомах, молекулах и кристаллах» [19].

Диамагнитные вещества (висмут, серебро, золото) обладают отрицательной магнитной восприимчивостью (под действием магнитных сил электроны атомов приобретают добавочную угловую скорость, вследствие чего в каждом атоме возникает добавочный магнитный момент, направленный против создающего его внешнего поля).

Парамагнитные вещества (хром, марганец, олово, платина, редкоземельные элементы) обладают положительной магнитной восприимчивостью (под действием магнитных сил атомные магнитные моменты ориентируются по направлению поля, вследствие чего парамагнитные вещества во внешнем магнитном поле намагничиваются в направлении

поля). У диа- и парамагнитных веществ магнитная восприимчивость очень мала и почти не зависит от напряженности поля. «Ферромагнитные вещества (железо, никель, кобальт, кадмий) характеризуются способностью к самопроизвольному намагничиванию даже при отсутствии внешнего магнитного поля. При увеличении напряженности внешнего магнитного поля намагниченность ферромагнитного вещества возрастает при данной температуре до полного насыщения (все атомные магнитные моменты становятся параллельными и ориентируются по полю)»[20].

Если в магнитное поле, создаваемое в зоне сепарации системами из постоянных магнитов или электромагнитов с обмоткой, питаемой постоянным током, попадает ферромагнитное вещество, магнитное поле существенно искажается. При попадании в магнитное поле пара- и диамагнитных веществ оно искажается незначительно. Соответственно, ферромагнитные вещества испытывают значительные силы со стороны магнитного поля, пара- и диамагнитные - меньшие.

Ферромагнитный компонент в магнитном поле намагничивается и становится магнитом с двумя полюсами. Работа намагничивания единицы объема ферромагнитного компонента при изменении индукции от 0 до некоторого значения  $B$ , графически выражается площадью между кривой намагничивания и осью ординат (рисунок 4)

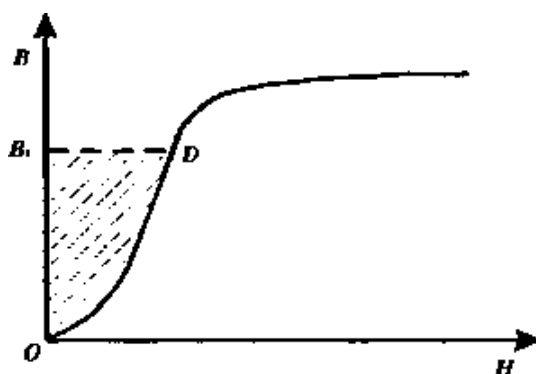


Рисунок 4 - К вычислению работы намагничивания ферромагнитного вещества

При намагничивании ферромагнитного компонента ему сообщается энергия на создание магнитного поля внутри компонента и вне его. Магнитная сила, действующая на ферромагнитный компонент в магнитном поле, определяется потенциальной энергией, приобретенной единицей объема компонента во время его намагничивания.

Чтобы магнитные компоненты притягивались к магниту, действующая на них магнитная сила притяжения должна превосходить силу тяжести, а также сопротивление среды движению частиц и другие механические силы.

Чем больше разница магнитной восприимчивости отдельных компонентов в их смеси, тем легче разделяются они в магнитном поле, при чем чем выше магнитная восприимчивость, тем меньшая требуется напряженность поля для разделения компонентов.

Ферромагнитные компоненты большинства твердых отходов имеют удельную магнитную восприимчивость не менее  $3 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{г}$  и достаточно эффективно извлекаются в магнитный продукт при использовании сепараторов с относительно слабым магнитным полем напряженностью до 120 кА/м (практически применяются сепараторы с магнитным полем 90-200 кА/м). К ним относятся все изделия из черного металла, отслужившие свой срок в быту и попавшие в среду. «Для выделения из отходов магнитного продукта наиболее подходят магнитные сепараторы- железотделители типа ПС с автоматической разгрузкой и шкивные сепараторы типа ШЭ. В рабочей зоне этих сепараторов имеется магнитное поле, которое создается системой из электромагнитов с обмоткой, питаемой постоянным током» [21].

«Недостатком данного способа является то, что при формировании потока среды, пропорционально магнитной силе. В случае минимальной магнитной силы для создания и минимальной силы потока среды сужают сечение, для движения потока, но это осуществимо только в том случае, если при сужении сечения режим течения меняется с ламинарного на турбулентный, что конструктивно сложно выполнимо, так как величина сужения сечения в этом случае существенна. Если же сужение сечения



незначительное, то режим течения не изменится, скорость же течения увеличится, и тогда уже сила лобового сопротивления, наоборот, увеличится» [29].

### **2.2.2 Осаждение**

«Большинство процессов химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности сопровождаются осаждением из дисперсного потока частиц различной природы, тем самым образуя на поверхности слой определенной толщины со специфическими свойствами» [26]. Наиболее распространёнными процессами разделения гетерогенных систем являются процессы разделения суспензий, образующихся в ходе химических реакций с выпадением осадка, в процессе кристаллизации твёрдых веществ из их насыщенных растворов, в результате мокрой очистки газов и во многих других процессах.

«Грубые суспензии с невысокой долей твёрдой фазы, имеющие сравнительно крупные частицы, плотность которых заметно выше плотности жидкости, способны разделяться под действием силы тяжести-седиментировать. Эти системы разделяют обычно отстаиванием в таких аппаратах, как одноярусные и многоярусные отстойники непрерывного действия» [27]. «Также известен способ очистки серной кислоты от микропримесей металлов путем осаждения их органическими реактивами» [28]. Недостатком данного способа является громоздкость конструкции и нерациональность. Возможно применение фильтров механической очистки для задержания примесей железа в серной кислоте.

## **2.3 Анализ существующего рынка магнитных сепараторов и механических фильтров**

Магнитные сепараторы. В каждой отрасли, используют разного типа магнитные сепараторы. Они отличаются друг от друга не только формой, размерами, принципом работы, но и используемыми в них магнитами.

В основном применяют два из них:

-ферритовые,

-неодимовые.

Первые применяются, когда необходимо извлечь крупные размеры металлической примеси. Вторые дороже, и они более мощные. С их помощью можно извлекать как крупные фракции металлов, так и очень мелкие.

«Существует классификация магнитных сепараторов. Чисто конструктивно они делятся на» [22] стержневого типа, барабанного типа, подвесного и вихревого.

По типу очищаемого материала на: мокрые и сухие.

По мощности магнитов на слабые, сильные, регулируемые.

По направлению движения очищаемого материала или продукта прямоточные и противоточные. Барабанного, подвесного, вихревого типов применяются для сыпучих материалов.

«Стержневые магнитные сепараторы (рисунок 5). Широко используются для улавливания нежелательных ферромагнитных включений из потока жидких, сыпучих и гранулированных продуктов различной фракции. Сепарация перечисленных продуктов с помощью стержневых магнитных систем является наиболее эффективной, так как материал, проходя сквозь сепаратор, оказывается в непосредственной близости к магнитам, расположенным внутри стержней. При этом все нежелательные ферромагнитные включения задерживаются на поверхности стержней, а немагнитный сепарированный продукт двигается дальше по производственной линии» [23].



Рисунок 5 - Магнитные стержни

Стержневые магнитные сепараторы ССМТ представляет собой систему на основе мощных магнитов из редкоземельного сплава, установленную в элементе трубопровода, где под давлением или вертикальным самотеком проходит жидкий продукт. «Поток жидкого продукта, проходя через сепаратор, попадает в мощное магнитное поле, под действием которого ферромагнитные включения задерживаются на магнитных стержнях, а немагнитный сепарированный продукт, двигаясь дальше, переходит на следующую стадию транспортировки. В зависимости от исполнения очистка ССМТ может производиться ручным (щётки, ветошь рисунок 6) и механизированным (извлекающиеся стержни) способом» [24].



Рисунок 6 - Стержневой магнитный сепаратор типа ССМТ

Сепаратор МС представляет собой магнитный стержень на основе мощных магнитов из редкоземельного сплава. МС выполняются различного диаметра, длины и с различными вариантами крепления в зависимости от места установки и пожеланий заказчика. Поток сыпучего материала или жидкости, проходя по магнитному стержню МС, попадает в мощное магнитное поле, под действием которого ферромагнитные включения задерживаются на поверхности МС, а немагнитный сепарированный продукт, двигаясь дальше, переходит на следующую стадию транспортировки. Очистка МС производится ручным (щётки, ветошь) или механизированным (извлекающийся стержень рисунок 7) способом.



Рисунок 7 - Стержневой магнитный сепаратор типа МС.

Сетчатые фильтры. Распространённость применения сетчатых фильтров объясняется тем, что альтернативных систем, с таким же КПД и простотой установки не существует. Кроме того, в ряде систем фильтрации их применение обязательно.

Основной элемент- фильтрующая сетка, она располагается в корпусе фильтра под углом к потоку рабочей среды. Таким образом, единственный путь потока- через ячейки сетки. Их размер от 50 до 500 микрометров.

Механические частицы, превышающие размер ячеек, задерживаются на поверхности сетки. Под действием силы напора или собственной тяжестью они смещаются в отстойник, специальный отсек фильтра, который легко чистить.

Для очистки фильтр имеет в конструкции крышку, позволяющую извлекать и промывать сетку от накопившихся загрязнений. По типу крепления крышки фильтры подразделяют на:

- муфтовые, крышка с резьбой вкручивается в корпус фильтра, используется на трубопроводах с проходным диаметром до 2-х дюймов;

- фланцевые, крышка крепится гайками на шпильки, вкрученные в корпус, применяется на трубопроводах большего диаметра.

«При выборе фильтра необходимо правильно подобрать размер ячейки сетки. Чем мельче, тем выше качество фильтрации. Но вместе с тем растёт и частота промывки и риск забивания фильтра, которое может привести к снижению проходимости трубопровода. Возросшее давление способно выдавить сетку из фильтра (рисунок 8), что повредит трубопровод, арматуру и оборудование» [30].

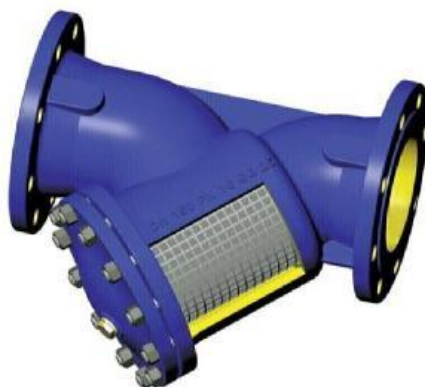


Рисунок 8 - Сетчатые фильтры ООО «КОМПАНИЯ АДЛ»

Сравнительные характеристики магнитного сепаратора и сетчатого фильтра представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики магнитного сепаратора и сетчатого фильтра

Наименование	Достоинства	Недостатки
1	2	3
Магнитный сепаратор	Компактность, благодаря которой отсутствует необходимость в проведении монтажа технологической линии без каких-либо изменений. Отсутствие необходимости подключения электроэнергии. Надежность, долговечность	Очистка производится ручным способом
Сетчатый фильтр	Компактность. Простота конструкции. Надежность. Небольшие габаритные размеры. Недорогая стоимость	Забивка сетки, замена сетки вручную. Воздействие коррозии на тонкую сетку, в следствии чего частая замена сетки. Невозможность улавливания более мелких частиц.

В результате анализа сравнительных характеристик по достоинствам и недостаткам принимаем, что магнитный сепаратор наиболее подходит для решения поставленной задачи.

Принципиальная схема подачи серной кислоты с установленными магнитными сепараторами представлена на рисунке 9.

При замене существующих центробежных насосов на герметичные насосы с магнитной муфтой марки ХЦМ 12/25 В-К ВД Н (ОКТБ «Кристалл») уменьшается количество выбросов паров кислоты в атмосферу, а при установки магнитных сепараторов получаем чистое сырье без металлической стружки, болтов, гаек, окалины и других металлических примесей. На основании опытной эксплуатации при работе по новой технологической схеме, время, затрачиваемое на регенерацию, сокращается на 3 мин.

На ионообменные смолы (на тонкую очистку с фильтрацией и удалением частиц размером 5-10 мкм) подается среда, загрязненная металлическими примесями.

По мере загрязнения ионообменных фильтров снижается скорость фильтрации, что влечет за собой увеличение времени проведения процесса.

На данный момент на предприятии регенерация ионообменных смол осуществляется 2,2 раза в сутки, таким образом, предлагается установка магнитного сепаратора, что позволит снизить концентрацию металлических примесей до минимальных значений 99,9%.

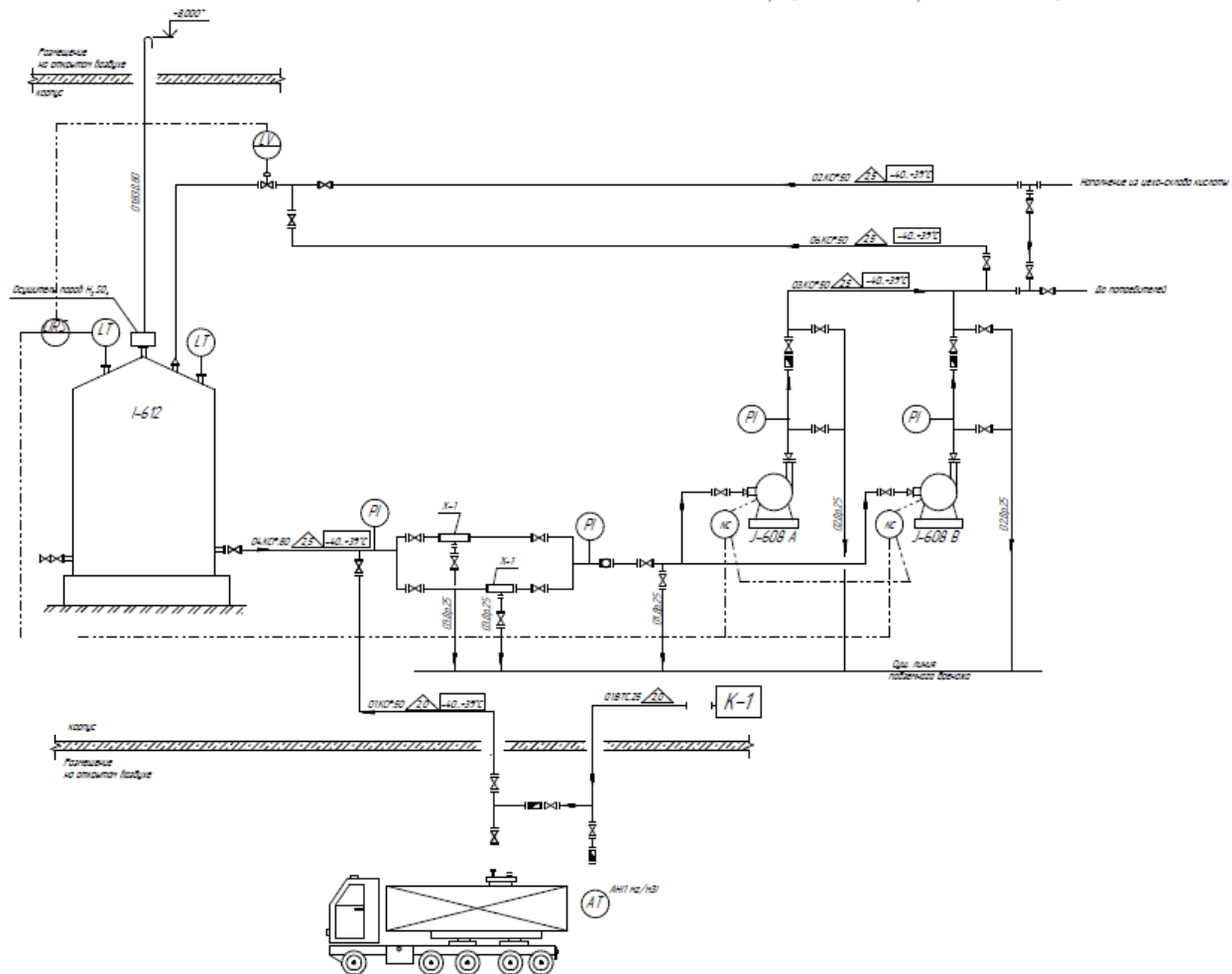
В результате на ионообменные смолы подается очищенная серная кислот, соответственно, ионообменная смола будет работать в оптимальных режимах более продолжительное время, что позволит проводить процесс очистки на высоких скоростных режимах.

Экспериментальные исследования по оптимизации работы ионообменных фильтров, представленные в научных работах, позволяют сделать вывод, что при внедрении магнитного сепаратора время фильтрации сократится ориентировочно на 3 минуты.

Выводы по разделу 2:

- серная кислота является сильным окислителем, рассмотрены типы коррозии при взаимодействии кислоты с металлами;
- для предотвращения попадания частиц металла в процесс регенерации рассмотрены варианты очистки кислоты;
- представлены сравнительные характеристики возможных методов очистки, наиболее подходящим вариантом является установка магнитного сепаратора на линии подачи кислоты до насосов;
- разработана технологическая схема установки магнитного сепаратора.

Монтажно-технологическая схема обеспечения стабильности процесса подачи серной кислоты в цехе №03А ПАО "ТОАЗ"



Спецификация

Поз	Наименование	Кол-во	Характеристики	Получение
1-612	Хранилище 92,5% серной кислоты	1	Ø4670мм 144877мм 1479 м <sup>3</sup>	
K-1	Параллельный насосный компрессор	1	Тип ЕПНЗ 2--240	
1-608 А,В	Насос для серной кислоты	2	К-5008Т 0-240 м/мин Т <sub>н</sub> 10М 12/250-А-80Н Q=12 м <sup>3</sup> /час 1425 м P <sub>наг</sub> = 63 кгс/см <sup>2</sup> N=75 кВт n=3000 об/мин	
X-101	Параллельный сепаратор Ø 60 мм	2		

Рисунок 9 – Схема подачи серной кислоты с магнитными сепараторами



### 3 Расчетная часть

#### 3.1 Расчет материального баланса

Исходные данные. В сутки на 4-х анионитовых блоках проводится до 2,2 регенераций. Серной кислоты (концентрацией 1,5% масс.) затрачивается  $6\text{ м}^3/\text{час}$  ( $3\text{ м}^3$  за регенерацию). Продолжительность регенерации 30 мин. Определим общее количество раствора серной кислоты в сутки:  $N = 2,2 \cdot 3,0 = 6,6\text{ м}^3$

При сокращении времени регенерации на 3 мин определим по пропорции количество кислоты на одну регенерацию:  $X = 3 - \frac{3}{30} \times 3 = 2,7\text{ м}^3$

Определим количество серной кислоты в сутки при сокращении времени регенерации:  $X = 2,7 \cdot 2,2 = 5,9\text{ м}^3$

Концентрированная серная кислота (концентрацией 92,5% масс.) поступает в расходную емкость, куда насосом откачивается в смесительный узел. В смесительном узле она смешивается с водой до требуемой концентрации.

По «правилу креста» определим количество воды необходимой для приготовления раствора и количество концентрируемой серной кислоты (таблица 2). Для этого составим таблицы 3,4 куда внесем данные необходимые для расчета. Для этого переведем объемный расход в массовый по формуле:

$$m = V \times \rho, \quad (1)$$

где  $V$  – объемный расход ( $V_1=6,6\text{ м}^3$ ,  $V_2=5,9\text{ м}^3$ )

« $\rho$ - плотность 1,5%-го раствора серной кислоты ( $\rho= 1020\text{ кг/м}^3$ )»

[31].

$$m_1 = 6,6 \cdot 1020 = 6732 \text{ кг}$$

$$m_2 = 5,9 \cdot 1020 = 6018 \text{ кг}$$

Таблица 2 - Количество серной кислоты в растворе при времени регенерации 30 мин

Наименование веществ	Массовая доля вещ-ва (%масс.)	Масса раствора, кг	Масса вещества, кг
Исходный раствор	0,015 (1,5%)	6732	0,015x6732
Вода	-	x	-
Новый раствор	0,925 (92,5%)	6732-x	0,925(6732-x)

Определим необходимое количество воды для приготовления 1,5%-го раствора серной кислоты из уравнения для существующего узла:  $0,925(6732 - x) = 0,015 \cdot 6732$ , значить  $X = 6622 \text{ кг}$

Определим количество серной кислоты (92,5%), требуемой для приготовления 1,5%-го раствора серной кислоты:  $6732 - 6622 = 110 \text{ кг}$ .

Таблица 3 - Количество серной кислоты в растворе при сокращении времени регенерации

Наименование веществ	Массовая доля вещ-ва (%масс.)	Масса раствора, кг	Масса вещества, кг
Исходный раствор	0,015 (1,5%)	6018	0,015x6018
Вода	-	x	-
Новый раствор	0,925 (92,5%)	6018-x	0,925(6018-x)

Определим необходимое количество воды для приготовления 1,5%-го раствора серной кислоты из уравнения для существующего узла:  $0,925(6018 - x) = 0,015 \cdot 6018$ , значить  $X = 5920$  [36] - [37].

Определим количество серной кислоты (92,5%), требуемой для приготовления 1,5%-го раствора серной кислоты:  $6018 - 5920 = 98 \text{ кг}$ .

Существующий материальный баланс представлен в блок-схеме (рисунок 10):

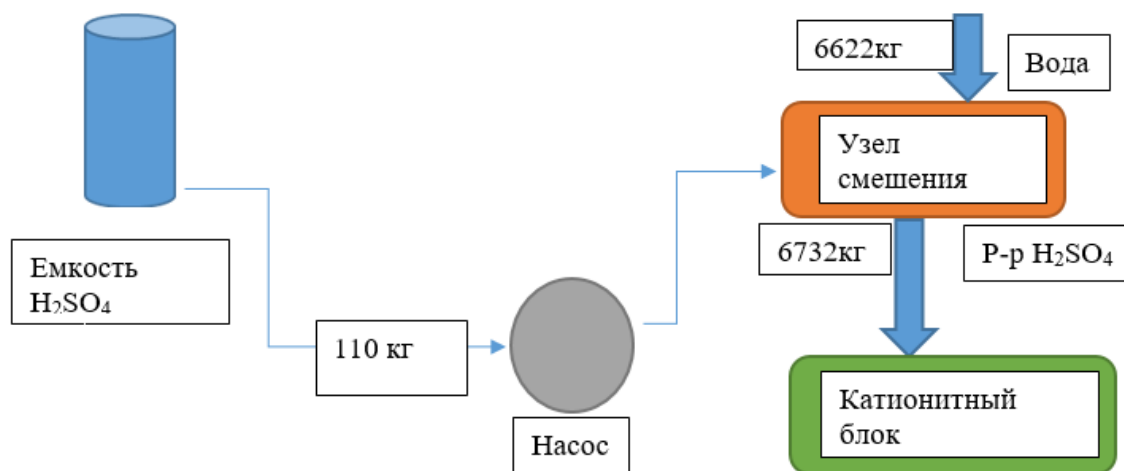


Рисунок 10 – Блок-схема существующий материальный баланс

Проектный материальный баланс представлен в блок-схеме на рисунке 11:

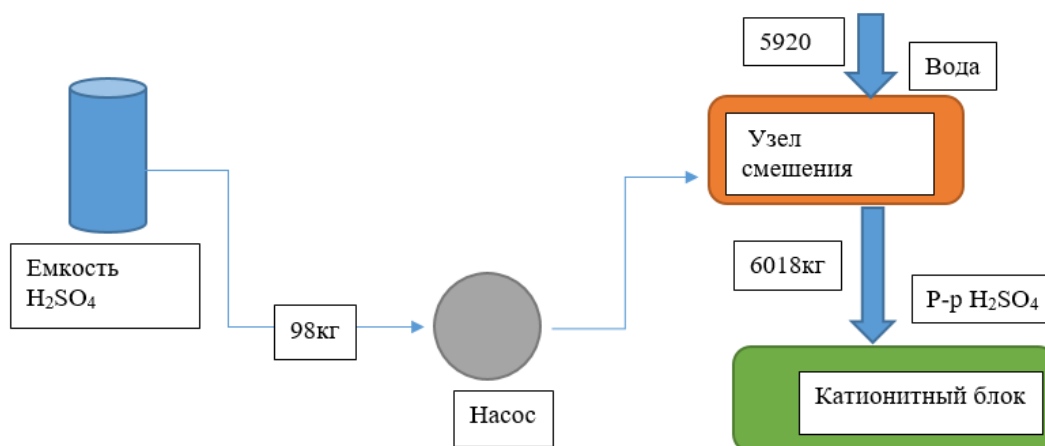


Рисунок 11 – Блок-схема проектного материального баланса

На основании полученных расчетов составим таблицы материального баланса для существующего и проектного вариантов (таблицы 4,5).

Таблица 4 - Материальный баланс существующего узла

Наименование вещества	Молекулярный вес, г/моль	Приход, кг
Серная кислота	98	110
Вода	18	6622
Итого:		6732

Таблица 5 - Материальный баланс проектируемого узла

Наименование вещества	Молекулярный вес, г/моль	Приход, кг
Серная кислота	98	98
Вода	18	5920
Итого:	-	6018

Если сравнить расход воды и серной кислоты существующего и предлагаемого в проекте узла регенерации, то ресурсосбережение составит:

$$\text{ВОДА} = 6622 - 5920 = 702 \text{ кг}$$

$$\text{СЕРНАЯ КИСЛОТА} = 110 - 98 = 12 \text{ кг}$$

### 3.2 Расчет фильтра

Производительность  $Q$  магнитного сепаратора определяется по формуле:

$$Q = q \cdot n \cdot (L - 0,1) \quad , \quad (2)$$

где  $q$  - удельная нагрузка, кг/час.

$$q = \frac{M \cdot \rho}{3600} \quad , \quad (3)$$

где  $L$  - длина каждого стержня ( $L = 0,2$  м);

$n$  - число стержней в сепараторе ( $n = 3$ ),

$\rho$  - плотность 98%-ого раствора серной кислоты ( $\rho = 1866 \text{ кг/м}^3$ ) [31].

$$Q = \frac{98 \cdot 1866}{3600} \cdot 3 \cdot (0,2 - 0,1) = 15,2 \text{ м}^3/\text{час}$$

Определим количество ферромагнитных частиц по формуле (3):

$$N = Q \cdot \zeta, \quad (4)$$

где  $\zeta$  - загрязненность жидкости ферромагнитными частицами ( $\zeta=0,001\%$ ) [33].

$$N = 15,2 \cdot 0,001 = 0,015 \text{ м}^3/\text{час}$$

Определим время работы насоса за одни сутки при условии, что продолжительность регенерации - 27мин, количество регенераций в сутки 2,2.

$$T = 27 \cdot 2,2 = 59,4 \text{ мин} = 1 \text{ час}$$

Годовое количество ферромагнитных частиц, очищаемых магнитным сепаратором, составит:

$$N_{\text{год}} = T \cdot N \cdot 365 \quad (5)$$

$$N_{\text{год}} = 1 \cdot 0,015 \cdot 365 = 5,55 \text{ м}^3/\text{год}$$

Определим массу частиц, очищаемых сепаратором, используя формулу (1) с учетом плотности частиц ( $\rho=2500\text{кг/м}^3$ ) [31].

$$M = 5,55 \cdot 2500 = 13875 \text{ кг/год} = 13,9 \text{ т/ год.}$$

### 3.3 Определение потерей напора, кавитационного запаса системы

Исходные данные

Характеристика насоса ХЦМ 12/25 В-К ВД Н;

Подача (Q)- 12 м<sup>3</sup>/час; 0,0033м<sup>3</sup>/с

Напор - 25м;

Допустимый кавитационный запас - 3,0м;

Мощность насоса - 7,5кВт;

Диаметр всасывающего трубопровода (d)- 50мм (0,05м); 80мм (0,08м);

Давление минимальное в автобойлере (передавливание компрессором)  
- 2 бар (20 000 Па).

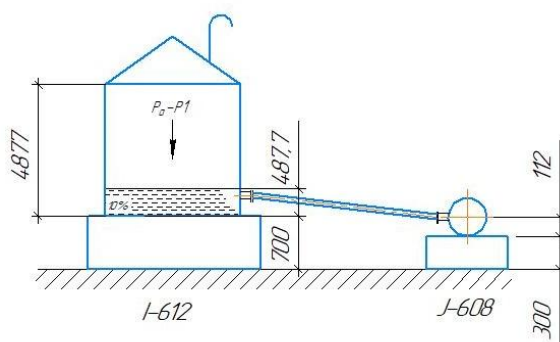


Рисунок 12- Напоры системы при установке магнитного сепаратора в системе цеха 12 ХВО

Устанавливая насос в технологической схеме, следует учитывать, что для нормальной бескавитационной работы насоса перекачиваемая жидкость должна обладать кавитационным запасом системы:

$$H_{\text{системы}} = H_{\text{ес}} + \left( \frac{P_a}{\rho \cdot g} - \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{\omega^2}{2 \cdot g} \right) - h \cdot \omega \quad (6)$$

где P - абсолютное давление в емкости, из которой ведется откачка (P= 101 325 Па);

$P_a$  - давление насыщенного пара серной кислоты при  $20^\circ\text{C}$  ( $P_a = 0,188 \text{ мм.рт.ст} = 25,1 \text{ Па}$ );

$P_1$  - давление в автобойлере ( $P_1 = 20 \text{ 0000 Па}$ ).

$\rho$  - плотность 98%-ого раствора серной кислоты ( $\rho = 1866 \text{ кг/м}^3$ ) [31].

$g$  - ускорение свободного падения ( $g = 9,81 \text{ м}^2/\text{с}$ );

$H$  - высота всасывания (возможное граничное положение уровня жидкости в емкости относительно оси штуцера всаса насоса при 10 % заполнении емкости), м;

$\omega$  - скорость жидкости во всасывающей трубке насоса, м/с;

$h$  - потеря напора во всасывающей линии, м.

1. Находим высоту всасывания  $H$  (см. рис. 12):

$$H = (0,7 + 0,4877) - (0,3 + 0,112) = 0,775 \text{ м}$$

2. «Находим скорость жидкости во всасывающей трубке насоса  $\omega$ » [32]:

$$\omega = \sqrt{\frac{Q}{0,785 \cdot d^2}} \quad (7)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{0,0033}{0,785 \cdot 0,05^2}} = 1,29 \text{ м/с}$$

3. Потерянный напор во всасывающей линии находим по формуле 8:

$$h \cdot \omega = \left( \lambda \frac{1}{d} + \zeta \right) \cdot \frac{\omega^2}{2 \cdot g} \quad (8)$$

где  $\zeta$  - сумма коэффициентов местных сопротивлений на всасе насоса.

4. Определим потери на трение и местные сопротивления.

Находим критерий Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho}{\mu} \quad (9)$$

где  $\mu$ -динамический коэффициент вязкости ( $\mu=1,710$  Н сек/м при температуре равной  $25$  °C);

$$Re = \frac{1,29 \cdot 0,05 \cdot 1866}{1,7 \cdot 10^{-3}} = 70798$$

$Re \leq 2300$ ;

Режим турбулентный. Таким образом, в трубопроводе имеет место смешанное трение, расчёт коэффициента трения  $\lambda$  следует проводить по формуле:

$$\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \quad (10)$$

$$\lambda = \frac{0,316}{70798^{0,25}} = 0,02$$

5. Определим сумму местных сопротивлений для всасывающей линии (потери в трубопроводе, фитингах, арматуре, фильтрах) рисунок 13.

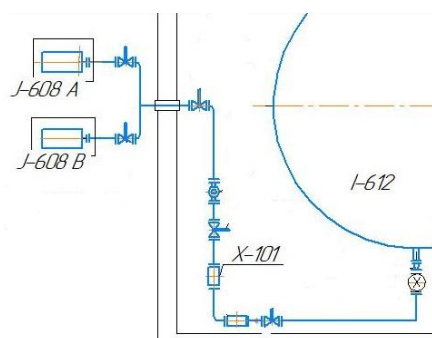


Рисунок 13 - Расположение магнитного сепаратора на плане [35]

Вход в трубу (принимаем с закругленными краями):  $\varepsilon_1=0,2$ ;

Выход из трубы  $\varepsilon_2=1$ ;



Для арматуры Ду 50 мм (5 шт.):  $\varepsilon_3=0,79$ ,  $\varepsilon_3=0,79 \cdot 5 \text{ шт.} = 3,95$ ;

Отводы (5 шт.):

$\varepsilon_4=0,15$ ,  $\varepsilon_4=0,15 \times 5 \text{ шт.} = 0,75$ .

5) Переход 80/50: Коэффициент местного сопротивления для концентрических переходов:  $\varepsilon_5= 0,2$ ;

6) Фильтр сетчатый и магнитный сепаратор:  $\varepsilon_6= 3$ ;  $\varepsilon_6= 3 \times 2 \text{ шт.} = 6$ ;

Сумма коэффициентов местных сопротивлений во всасывающей линии:

$$\zeta = \sum \varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4 + \varepsilon_5 + \varepsilon_6 \quad (11)$$

$$\zeta = 0,2 + 1 + 3,95 + 0,75 + 0,2 + 6 = 12,1$$

Потерянный напор во всасывающей линии равен:

$$h \cdot \omega \left( 0,02 \frac{10,2}{0,05} + 12,1 \right) \cdot \frac{1,29^2}{2 \cdot 9,81} = 1,37 \text{ м}$$

Определим кавитационный запас системы для чего подставим в формулу 6 полученные значения (м):

$$H_{\text{системы}} = 0,775 + \left( \frac{101625}{1866 \cdot 9,81} - \frac{25,1}{1866 \cdot 9,81} + \frac{1,29^2}{2 \cdot 9,81} - 1,37 \right) = 5,04 \text{ м}$$

Для нормальной бескавитационной работы насоса перед входным патрубком должно быть следующее соотношение:

$$H \geq h_{(\text{доп.})} + 0,5, \text{ м};$$

где  $h_{(\text{доп.})}$ -допустимый кавитационный запас насоса, определяемый в соответствии с ГОСТ 6134-87 по формуле:

$$\Delta h_{\text{доп}} = A \cdot \Delta h \quad (12)$$

где 0,5- допуск на величину кавитационного запаса;

A- коэффициент кавитационного запаса. В среднем принимается

$$A=1,15[34];$$

$\Delta h$ - критический кавитационный запас (задает завод-изготовитель насоса), м.

$$\Delta h_{\text{доп}} = 1,15 \cdot 3,0 = 3,45 \text{ м}$$

$$\Delta h_c = 3,45 \cdot 0,5 = 3,95 \text{ м}$$

5,04 м  $\geq$  3,95 м - условие выполняется.

### 7. Заключение

Насос ХЦМ 12/25 В-К ВД Н будет работать в бескавитационном режиме.

Примечание: рассматривается наихудший случай:

- 10 % уровень в ёмкости;
- минимальное давление в емкости;
- максимально-допустимая высота фундаментов для насосов (300 мм).
- минимально-допустимая высота фундаментов для емкости (700 мм).

Выводы по разделу 3:

- выполнен расчет материального баланса, который определил экономию серной кислоты и воды для регенерации; выполнен расчет магнитного сепаратора, определена его производительность и количество частиц, которые он соберет на своих стержнях [36];

- выполнен гидравлический расчет трубопровода подачи серной кислоты, определено, что сопротивление магнитного сепаратора незначительно и не требует каких-либо дополнительных мер по увеличению давления; выполнен расчет экономических показателей, которым определены основные показатели: экономическая эффективность, количество затрат на установку магнитного сепаратора и срок окупаемости.

## Заключение

В дипломной работе рассмотрено применение магнитного сепаратора на трубопроводах серной кислоты для регенерации катионитовых и анионитовых фильтров в производстве деминерализованной воды ПАО «ТОАЗ».

Выполнен анализ, существующей схемы обессоливания воды ионообменным способом и рассмотрен процесс восстановления (регенерации) ионообменных фильтров.

Описаны процессы коррозии при взаимодействии металла с серной кислотой и возможные способы извлечения образующихся ферромагнитных частиц, которые негативно влияют на процесс регенерации. Произведен анализ возможных способов извлечения с описанием положительных и отрицательных факторов. В результате чего, выбран метод магнитной сепарации.

Предложены и рассмотрены варианты конструкции магнитного сепаратора, выполнен анализ технических характеристик и осуществлен подбор оборудования для данного узла.

Разработана технологическая схема установки магнитных сепараторов в узле подачи серной кислоты.

Рассчитан материальный баланс узла регенерации, в котором отражена эффективность процесса, а именно снижение расхода серной кислоты и речной воды в процессе регенерации за счет установки нового магнитного сепаратора.

Произведен расчет производительности оборудования, а также расчет гидравлических потерь системы при установки магнитного сепаратора.

Показано, что внедрение нового оборудования обеспечивает положительный экономический эффект. Срок окупаемости дополнительных инвестиций 0,4 года.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Ангелов, А.И., Верещагин И.П., Ершов В.С., и др. Физические основы магнитной сепарации. М., Недра, 1983. [Электронный ресурс] Электронная книга.URL: [https://www.studmed.ru/angelov-a-i-vereschagin-i-p-i-dr-fizicheskie-osnovy-elektricheskoy-separacii\\_18844b28522.html](https://www.studmed.ru/angelov-a-i-vereschagin-i-p-i-dr-fizicheskie-osnovy-elektricheskoy-separacii_18844b28522.html)
2. Балабан-Ирменин, Ю.В. Защита от внутренней коррозии трубопроводов водяных тепловых сетей. Ю.В. Балабан-Ирменин.[Текст] М.: Энергоатомиздат, 2018. - 336 с.
3. Боровкова, И.И. Современные технологические решения при проектировании водоподготовительных установок. /И.И. Боровкова. Журнал «Энергосбережение и водоподготовка». 2002. - №2. URL:<https://elibrary.ru/contents.asp?id=37310758>
4. Борисов, Г. С., Брыков В. П. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию. М.: Химия, 2015. 381 с.
5. Бретшнайдер, Б., Курфюрст И. Охрана воздушного бассейна от загрязнений. [Электронный ресурс] Электронная книга.URL: <https://spbib.ru/ru/catalog/-/books/10448800-okhrana-vozdushnogo-basseyna-ot-zagryazneniy-tekhnologiya-i-kontrol>
6. Бибков, А.А., Крюковская Л.В. Магнитные свойства некоторых магнитных промпродуктов. [Текст] Журнал «Обогащение руд». 1974. №5.
7. Вонсовский, С.В. Физика ферромагнитных областей. М., ИЛ., 1959. [Электронный ресурс] Электронная книга. URL: [https://www.studmed.ru/vonsovskiy-sv-red-fizika-ferromagnitnyh-oblastey-sbornik-statey\\_854437f35dc.html](https://www.studmed.ru/vonsovskiy-sv-red-fizika-ferromagnitnyh-oblastey-sbornik-statey_854437f35dc.html)
8. Гербер А.В. Очистка систем теплоснабжения от накипи и коррозионных отложений методом термодинамической активации воды. А.В. Гербер. [Текст] Журнал «Проектирование и строительство в Сибири». 2001. - №4. - С. 54-56.

9. Гребенюк В.Д, Мазо А.А. Обессоливание воды ионитами. [Текст] М.:Альянс, 2018. 254 с.
10. Грисбах Р. Теория и практика ионного обмена. [Текст] М.: ИНФРА,2019. 499 с.
11. ГОСТ 2184-2013 «Кислота серная техническая. Технические условия» (введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 ноября 2013 г. N 1834-ст)» [Электронный ресурс]:<https://docs.cntd.ru/document/1200107829>.
12. Громов, С.П, Пантелеев А.А. современные технологии водоподготовки, как средство снижения эксплуатационных расходов. [Электронный ресурс]: Журнал «Энергетик». URL:<https://elibrary.ru/item.asp?id=18049289>.
13. Горфенкел. В. Я., Швандара В. А. Экономика предприятия. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2018. 659с.
14. Дытнерский Ю. И., Борисов Г. С., Брыков В. П. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Альянс, 2018. 289 с.
15. Душкин, С.С., Магнитная водоподготовка на химических предприятиях. С.С. Душкин, В.Н. Евстратов. [Электронный ресурс] Электронная книга. URL: [https://www.studmed.ru/dushkin-s-s-i-dr-magnitnaya-vodopodgotovka-na-himicheskikh-predpriyatiyah\\_30b63f47f02.html](https://www.studmed.ru/dushkin-s-s-i-dr-magnitnaya-vodopodgotovka-na-himicheskikh-predpriyatiyah_30b63f47f02.html)
16. Иванов, А. А. Модернизация промышленных предприятий на базе современных систем автоматизации и управления : учебное пособие / А.А. Иванов. — Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2020. — 384 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-00091-738-1. - Текст : электронный.
17. Жукова К.И, Песин Я.М. Способ очистки серной кислоты от микропримесей металла. Патент №97058. URL: <https://patents.su/2-97058-sposob-ochistki-sernojj-kisloty-ot-mikroprimesejj-metallov.html> (дата обращения 26.05.1921).

18. Звегинцев, А.Г., Елфимов С.А. Барабанный магнитный сепаратор. Патент № 220774 2002. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2220774> (дата обращения 10.06.2021).

19. Карлик А. Э., Шухгальтер М. Л. Экономика предприятия: учеб. пособие для вузов. М.: ИНФРА, 2019. 431с.

20. Копылов, А.С. Водоподготовка в энергетике. А.С. Копылов., В.М. Лавыгин, В.Ф. Очков. [Электронный ресурс]. Электронная книга URL: [https://rusneb.ru/catalog/000199\\_000009\\_001325222/](https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_001325222/)

21. Кармазин, В.В, В.И. Кармазин. Магнитные и электрические методы обогащения. М., Недра, 1988 г. [Электронный ресурс] Электронная книга. URL: [https://www.studmed.ru/karmazin-v-v-karmazin-v-i-magnitnye-i-elektricheskie-metody-obogascheniya\\_e96cc783e5d.html](https://www.studmed.ru/karmazin-v-v-karmazin-v-i-magnitnye-i-elektricheskie-metody-obogascheniya_e96cc783e5d.html)

22. Кембалиев Г.И, Гусейнова Л.В. Моделирование процессов осаждения частиц различной природы на поверхности трубопроводов. Журнал «Нефтепромышленное дело», 2014. [Электронный ресурс]

23. Ксенофонтов, Б. С. Обработка осадков сточных вод : учебное пособие / Б. С. Ксенофонтов. — Москва : ИНФРА-М, 2020. — 262 с. — (Высшее образование: Магистратура). - ISBN 978-5-16-014577-8. - Текст : электронный.

24. Мартынова, О.И., Водоподготовка. Процессы и аппараты. [Текст]М.: Альянс, 2018. 352 с.

25. Мясников, Н.Ф., Бехтле, Г.А., А.Ф. Кальвасинский. Полиградиентные магнитные сепараторы. М., Недра, 1978. [Электронный ресурс] Электронная книга.

26. Межгосударственный стандарт ГОСТ 34252-2017 «Насосы центробежные герметичные. Технические требования. Класс II». [Электронный ресурс]

27. Майдаков В.В, Урманчев С.Ф. Способ коагуляции и удаления ферромагнитных частиц из потока жидкости или газа. Патент

№RU2410332C1. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2410332C1/ru> (дата обращения 27.01.2011).

28. Мельников Е. Я. Справочник азотчика. М.: ЕЕ Медиа, 2018. 151 с.
29. Никольский Б.П. Справочник химика. Том 1. [Электронный ресурс] URL: <http://www.vixri.ru/?p=4658>.
30. Никольский Б. П. Григоров О. Н, Позина М. Е. Справочник химика. Том 2. М.: ЕЕ Медиа, 2018. 278 с.
31. Постоянный технологический регламент производства «Кемико», цехов 01,03А ХВО (химводоочистка) 2019,10-15 с.
32. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. М.: Альянс, 2018. 10-12 с.
33. Markham B.L., Storey J.C., Williams D.L., Irons J.R. (2017). Landsat sensor performance: history and current status. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(12), 2691–2694.
34. Goosen, M.F. Effect of feed temperature on permeate flux and mass transfer coefficient in spiral-wound reverse osmosis systems /M.F.Goosen, S.S. Sablani, S. S. Al-Maskari, R.H. Al-Belushi, M.Wilf// *Desalination*.- 2002. -№ 144. P. 367-372.
35. Rumyantseva<sup>1</sup> A., Berezyuk<sup>1</sup> M, Savchenko N and Rumyantseva E. Modern technologies of processing municipal solid waste: investing in the future IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 72 (2017) 012015.
36. Zen I.S., Noor Z.Z., Yusuf R.O. The profiles of household solid waste recyclers and non-recyclers in Kuala Lumpur, Malaysia - Habitat International, 2017.
37. Stefan Schlüter, Christian Geitner, Simulation of Methanol and Urea Production from Catalytic Conversion of Steel Mill Gases, *Chemie Ingenieur Technik*, 10.1002/cite.202000068,92, 10, (1403-1415), (2020).