

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)

18.03.01 Химическая технология

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Химическая технология органических и неорганических веществ

(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Модернизация установки химводоподготовки в производстве карбамида

Обучающийся

Е.А. Жирнова

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Ю.В. Чариков

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

## Аннотация

Бакалаврскую работу выполнила: Жирнова Е. А.

Тема работы: «Модернизация установки химводоподготовки в производстве карбамида».

Научный руководитель: Чариков Ю. В.

Цель бакалаврской работы – увеличение мощности по конденсату в результате его дополнительной очистки и деминерализации на установке химводоподготовки в производстве карбамида на ПАО «ТольяттиАзот».

Структура и объем работы: бакалаврская работа состоит из введения, трех разделов, заключения и списка используемых источников. Бакалаврская работа изложена на 60 страницах, включает 8 таблиц и 3 рисунка, а также список литературы из 30 источников.

В связи с вводом третьего агрегата карбамида производительность по конденсату увеличивается с 180 м<sup>3</sup>/час до 300 м<sup>3</sup>/час.

Показатели качества конденсата пара, поступающего на установку химводоподготовки, не соответствуют нормам, предъявляемым к качеству деминерализованной воды, поэтому требуется дополнительная очистка конденсата от нефтепродуктов (жира и масел) и катионов, в том числе аммиака, перед глубокой деминерализацией воды.

Поэтому была разработана технологической схемы очистки и деминерализация конденсата, поступающего с производства карбамида, от нефтепродуктов на угольных фильтрах и катионов, в том числе аммиака, на катионитных фильтрах с использованием современного активированного угля и катионитов.

Также были выполнены технологические расчеты угольных и катионитных фильтров, а также пластинчатого теплообменника для охлаждения конденсата. На основании выполненных расчетов была выбрано необходимое оборудование.

## Содержание

Введение.....	4
1 Теоретическая часть.....	5
1.1 Общая характеристика установки химводоподготовки.....	5
1.2 Технология очистки конденсата от нефтепродуктов и аммиака .....	9
1.3 Патентный поиск по очистке и деминерализации конденсата .....	13
1.4 Выбор и обоснование решения по модернизации установки химводоподготовки.....	15
2 Технологическая часть .....	20
2.1 Описание действующей технологической схемы химводоподготовки	20
2.2 Описание технологической схемы очистки и деминерализация конденсата .....	24
3 Расчетная часть.....	28
3.1 Расчет пластинчатого теплообменника .....	28
3.2 Технологический расчет угольных фильтров .....	35
3.3 Технологический расчет катионитных фильтров.....	39
3.4 Подбор основного и вспомогательного оборудования .....	48
Заключение .....	56
Список используемой литературы и используемых источников.....	57

## Введение

ПАО «Тольяттиазот» является одним из ведущих в России производителей удобрений.

В настоящее время на ПАО «Тольяттиазот» работают два агрегата производства карбамида общей мощностью 960 тыс. тонн в год.

Качество воды, применяемой для системы парообразования производства карбамида, имеет большое значение для безаварийной и экономичной работы технологического оборудования производства карбамида.

В технологическом процессе производства карбамида образуются технологические конденсаты пара, которые могут быть после дополнительной очистки возвращены в водооборотные циклы, что позволит сократить потребление воды и соответственно снизить затраты биологическую очистку сточных вод.

Данная выпускная квалификационная работы актуальна, так как повышается производительность установки химводоподготовки и обеспечивается ресурсо- и энергоэффективность производства карбамида.

Целью представленной бакалаврской работы является увеличение мощности по конденсату в результате его дополнительной очистки и деминерализации на установке химводоподготовки в производстве карбамида на ПАО «ТольяттиАзот».

Для выполнения поставленной цели выпускной квалификационной работы, необходимо выполнить следующие задачи:

- изучить технологическую схему установки химводоподготовки в производстве карбамида, провести ее анализ и разработать схему очистки и деминерализации конденсата;
- провести технологические расчеты оборудования для дополнительной очистки и деминерализации конденсата;
- выбрать оборудование в соответствии с расчетами.

## 1 Теоретическая часть

### 1.1 Общая характеристика установки химводоподготовки

Применение основной продукции промышленности минеральных удобрений в конечном итоге направлено на обеспечение продовольственной безопасности Российской Федерации. В соответствии с указом Президента Российской Федерации от 31 декабря 2015 г. № 683 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации» обеспечение продовольственной безопасности осуществляется, в частности, за счет:

- достижения продовольственной независимости Российской Федерации;
- повышения плодородия почв, предотвращения истощения и сокращения площадей сельскохозяйственных земель и пахотных угодий [8].

В России, как и во всем мире, карбамид в промышленности получают путем синтеза из аммиака и диоксида углерода при высоком давлении и температуре:



Основной вид сырья: жидкий аммиак марок Ак и Б с массовой долей 99,6 % поступает из производства аммиака, в котором хранится в изотермическом хранилище при атмосферном давлении и температуре минус 34 °С, что позволяет обеспечить минимально возможное содержание растворенных газов в жидком аммиаке.

Второй компонент: диоксид углерода, являющийся побочным продуктом производства аммиака, выделяют из конвертированного газа методами абсорбции водными растворами органических или неорганических оснований. Выделенный таким образом  $\text{CO}_2$  может содержать примеси  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{O}_2$ , а также сернистых соединений из углеводородного сырья.

Поскольку реакция синтеза карбамида идет при повышенном давлении и температуре для сжатия компонентов сырья до давления синтеза, а затем для отделения и возврата непрореагировавших реагентов необходима электроэнергия и тепло греющего водяного пара. Для охлаждения и конденсации непрореагировавших компонентов, а также водяных паров на стадиях выпаривания необходима охлаждающая вода [8].

Установка химводоподготовки производства карбамида введена в эксплуатацию в декабре 1978 года.

Проектная мощность установки составляет по деминерализованной воде:

- а) блоки обессоливания –  $60 \text{ м}^3/\text{ч}$  каждый блок;
- б) блок обессоливания в схеме с фильтром смешанного действия –  $60 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Достигнутая проектная мощность установки химводоподготовки составляет  $180 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Осветление воды производится в одну технологическую линию. Деминерализация воды осуществляется на стадии Н- и ОН-ионирования в три технологических потока.

Более глубокая деминерализация осуществляется на трех фильтрах смешанного действия, имеющих общий коллектор воды на входе и выходе фильтров.

Подготовка питательной воды для системы парообразования производства карбамида осуществляется методом ионного обмена с предварительной коагуляцией и известкованием речной воды [13].

Продуктом установки химводоподготовки является питательная вода для системы парообразования производства карбамида.

Показатели качества питательной воды [7]:

- жесткость общая – не более  $3 \text{ мкмоль}/\text{дм}^3$ ;
- натрий Na – не более  $10 \text{ мкг}/\text{дм}^3$ ;
- содержание соединений железа (в пересчете на Fe) – не более 20

мкг/дм<sup>3</sup>;

– содержание соединений меди (в пересчёте на Cu) – не более 3

мкг/дм<sup>3</sup>;

– содержание кремниевой кислоты (в пересчёте на SiO<sub>2</sub>) – не более 20

мкг/дм<sup>3</sup>;

– содержание жиров и масел – не более 0,05 мг/дм<sup>3</sup>;

– содержание органических веществ – не более 0,2 мг/дм<sup>3</sup>;

– pH – 6,0–7,0.

Деминерализованная вода, полученная после двухкамерных фильтров, поступает в бак деминерализованной воды, из которого насосами в качестве питательной воды подается на парокотельные установки производства карбамида. Данные, характеризующие исходное сырье, материалы, полупродукты, энергоресурсы представлены в таблице 1 [13].

Таблица 1 – Характеристика сырья, материалов, полупродуктов и энергоресурсов

Наименование сырья, материалов, полупродуктов и энергоресурсов	Технические условия, регламент	Наименование показателя	Норма
Вода осветленная из цеха № 12	Технологический регламент ц.12ХВО	Солесодержание	не более 287 мг/дм <sup>3</sup>
Конденсат пара турбин	Технологический регламент производства карбамида	pH	8,5-9,2
		Кремнекислота (SiO <sub>2</sub> )	не более 0,02 мг/л
		Жесткость (по CaCO <sub>3</sub> )	не более 0,15 мг/л (0,003 мг-экв/л)
		Масло	не более 0,3 мг/л
		Электропроводность при 20 °С	не более 0,3 мкS/см
Конденсат пара процесса	Технологический регламент производства карбамида	pH	9,0-10,0
		Аммиак	не более 20 мг/л
		Жесткость	не более 0,15 мг/л
		Кремнекислота (SiO <sub>2</sub> )	не более 0,02 мг/л
		Железо	не более 0,02 мг/л
		Карбамид и углеаммонийные соли	отсутствие

Продолжение таблицы 1

Наименование сырья, материалов, полупродуктов и энергоресурсов	Технические условия, регламент	Наименование показателя	Норма
Вода деминерализованная с установки деминерализации воды производства аммиака ф."Кемико"	Технологический регламент установки деминерализации воды производства аммиака ф."Кемико"	рН	7±0,5
		Жесткость	не более 0,003 мг-экв/л
		Железо	не более 0,03 мг/л
		Кремнекислота	не более 0,04 мг/л
		Окисляемость	не более 1 мг О <sub>2</sub> /л
Кислота соляная синтетическая техническая [3]	ГОСТ 857-95	Массовая доля хлористого водорода Внешний вид	не менее 31,5%. прозрачная, бесцветная или желтоватая жидкость
Едкий натр технический марки РР или РД [4]	ГОСТ Р 55064-2012, ТУ 2132-001-83385954-2013	Массовая доля гидроксида натрия, NaOH	не менее 42%
Катионит КУ-2-8; РРС 100Н или другие аналоги [5]	ГОСТ 20298-2022 или поставка по импорту	Зернистость	0,315-1,25 мм.
		ДОЕ	не менее 500-520 г-экв/м <sup>3</sup>
Анионит сильноосновной АВ-17-8; РРА 400 или другие аналоги [6]	ГОСТ 20301-2022 или поставка по импорту	Зернистость	0,4-0,6 мм.
		ДОЕ	700 г-экв/м <sup>3</sup>
Анионит слабоосновной АН31; РРА 100 Plus или другие аналоги [6]	ГОСТ 20301-2022 или поставка по импорту	Зернистость	0,4-0,6 мм.
		ДОЕ	700 г-экв/м <sup>3</sup>
Пар водяной		Давление	0,35-5,0 МПа (3,5-5 кгс/см <sup>2</sup> )
		Температура	не менее 150 °С
Технический воздух		Давление	не менее 0,4 МПа (4 кгс/см <sup>2</sup> )



## 1.2 Технология очистки конденсата от нефтепродуктов и аммиака

В связи с вводом третьего агрегата карбамида производительность по конденсату увеличивается с 180 м<sup>3</sup>/час до 300 м<sup>3</sup>/час.

Показатели качества конденсата пара, поступающего на установку химводоподготовки, не соответствуют нормам, предъявляемым к качеству деминерализованной воды, поэтому требуется дополнительная очистка конденсата от нефтепродуктов (жира и масел) и катионов аммиака, натрия, кальция и магния, перед глубокой деминерализацией воды.

Очистка конденсата от жиров и масел может выполняться методом отстоя в резервуарах и в сорбционных фильтрах.

Для очистки производственных конденсатов, содержащих жиры и масла, применяют сорбционные фильтры, работающие по одноступенчатой схеме.

К таким наиболее часто применяемым в промышленности относятся угольные фильтры.

В качестве фильтрующего материала в угольных фильтрах обычно применяют нефтяной кокс или активированный уголь.

Эффективность активированного угля определяется наличием в них микропор. Пустоты активированного угля соединены между собой так, что их структура напоминает структуру древесины. Проходя через слой сорбента, нефтепродукты заполняют объем микропор, полная вместимость которых контролирует поглощающую способность активированного угля.

AquaSorb HS (АкваСорб HS) – гранулированный активированный кокосовый уголь АкваСорб промытый кислотой паровой активации из тщательно отобранной скорлупы кокосовых орехов. Этот активированный уголь производится для использования в фильтрационных системах очистки сверхчистой воды, требующих низкой проводимости и исключительно высокой чистоты.

Основные преимущества угля АкваСорб:

- развитая внутренняя структура;
- высокая твердость;
- максимальная активность;
- увеличенный срок эксплуатации.

«Скорость фильтрования конденсатов, содержащих жиры и масла, должны быть:

- 5–6 м/ч, если температура конденсата превышает 90 °С;
- 7–8 м/ч, если температура конденсата менее 90 °С» [14].

«Высота фильтрующего слоя активного угля в сорбционных фильтрах может быть 1,2–1,5 м.

Фильтрующий слой угольных фильтров необходимо периодически (через 10–15 суток) взрыхлять, так как он с течением времени слеживается и на поверхности активированного угля образуется масляная пленка, что вызывает увеличение перепада давления» [14].

Температура конденсата при необходимости его деминерализации не должна превышать 50 °С, поэтому при превышении этого значения необходимо предусмотреть охлаждение конденсата.

Для деминерализации конденсата, содержащего аммиак, применяются метод ионного обмена.

Обработка воды методом ионного обмена основана на способности некоторых практически нерастворимых в воде веществ, называемых ионообменными материалами, или ионитами, изменять в желаемом направлении ионный состав воды. Для этого обрабатываемая вода пропускается через фильтры, загруженные ионитами. Просачиваясь между зернами ионита, обрабатываемая вода обменивает часть ионов растворенных в ней электролитов на эквивалентное количество ионов ионита, в результате чего изменяется ионный состав, как фильтруемой воды, так и самого ионита [9].

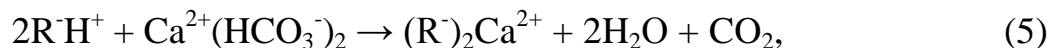
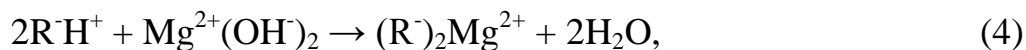
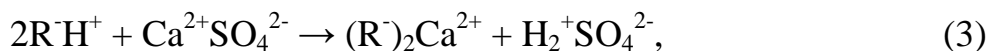
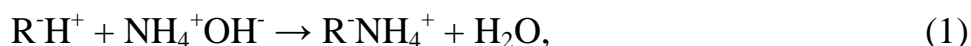
Если в результате обработки воды методом ионного обмена происходит обмен катионов, то такой процесс называется катионированием;

если же при этом происходит обмен анионов, то такой процесс называется анионированием.

Качество ионитов определяется рядом физико-химических свойств, важнейшими из которых являются фракционный состав, насыпная плотность, химическая стойкость, механическая прочность, обменная емкость, кислотность или основность [16].

Катион, который катионит отдает в раствор взамен поглощаемых катионов, называется обменным. Для практики водообработки важными являются только три обменных катиона – натрий, водород и аммоний. Соответственно различают натрий-катионирование, водород-катионирование и аммоний-катионирование.

Протекающие при водород-катионировании процессы могут быть представлены следующими реакциями 1–5 [24]:



где  $\text{R}^-$  – обозначение матрицы сильнокислотного катионита.

Катионитные фильтры загружаются ионообменной смолой. В процессе обработки катионит постепенно насыщается катионами, и его поглощательная способность значительно снижается. Регенерация истощенного катионита состоит в фильтровании через его слой 1–1,5 %-го раствора серной кислоты или соляной кислоты.

В качестве катионита для деминерализации конденсата в настоящее время наиболее перспективными являются ионообменная смола марки Supergel SGC650H или катионит Purolite C100 H – водородная форма.

Ионообменная смола марки Supergel SGC650H представляет собой гелевую структуру на основе полистирола сшитого дивинилбензолом и имеет

следующие преимущества:

- исключительная физическая и химическая стабильность;
- высокий вес на раздавливание;
- технологии с высокими линейными скоростями;
- высокая рабочая емкость;
- более низкий по сравнению со стандартными смолами перепад давления;
- высочайшая устойчивость к осмотическим шокам.

Катионит ионообменная смола марки Supergel SGC650H представляет собой структуру в форме сферических зерен, полученных на основе сульфированного сополимера стирола и дивинилбензола, и обладает следующими преимуществами:

- исключительная визуализация и химическая стабильность;
- хорошие кинетические характеристики;
- высокая рабочая емкость.

Противоточное фильтрование заключается в подаче регенерационного раствора и обрабатываемой воды в разных направлениях. Преимущества противоточного фильтрования были известны давно, но промышленное применение оно нашло лишь с появлением специальных конструкций фильтров и развитого производства разнообразных высокоэффективных монодисперсных ионитов.

Зажатый слой ионита препятствует перемешиванию материала, благодаря чему наиболее отрегенированный слой позволяет получить высокое качество воды, сравнимое с использованием третьей ступени. Однородный (монодисперсный) гранулометрический состав снижает гидравлическое сопротивление слоя, поэтому противоточные фильтры могут работать на более высоких скоростях, чем прямоточные.

Технология "зажатых слоев" Пьюропак – противоточная регенерация нисходящим потоком. Обрабатываемая вода движется снизу вверх, регенерационный поток – сверху вниз. Подача исходной воды

осуществляется с расходом, обеспечивающим поднятие всего объема смолы и удержание ее в течение всего фильтроцикла.

Особенностью таких фильтров является практически полное использование всего объема камеры фильтра (до 90%), что позволяет:

- снизить металлоемкость фильтра;
- увеличить объем фильтрующей загрузки;
- увеличить продолжительность фильтроцикла.

### **1.3 Патентный поиск по очистке и деминерализации конденсата**

Авторами патента №2447026 «предложен способ фильтрования очищаемой воды сверху вниз через смешанный слой катионитов в Н-форме и анионитов в ОН-форме и регенерации ионитов с послойным их разделением восходящим потоком воды. Регенерацию осуществляют подачей раствора щелочи сверху через слой анионита и раствора кислоты снизу через слой катионита с одновременным отводом отработанных растворов через среднее распределительное устройство, расположенное между разделенными слоями. Отмывку слоев ионитов проводят водой в направлении регенерационных растворов с последующим перемешиванием разделенных слоев катионита и анионита. Очищаемую воду и воду доотмывки после прохождения смешанного слоя ионитов фильтруют через дополнительный нижележащий слой катионита в Н-форме.

В результате можно снизить расход воды и получить глубокодеминерализованную воду высокого качества» [19].

Технической задачей в соответствии с патентом RU2577676 является создание системы химводоподготовки с повышенной точностью процесса дозирования одной жидкости в другую.

«Технический результат достигается за счет того, что система химводоподготовки, содержащая подводящую трубу с ударным клапаном, напорный колпак с впускным и перепускным клапанами, внутри которого

размещена резиновая камера, разделяющая его полость на две изолированные друг от друга части, одна из которых связана с подводящей трубой на участке до ударного клапана по ходу движения жидкости, а вторая с впускным и перепускным клапанами, а также нагнетательную трубу, соединенную одним концом с перепускным клапаном, дополнительно содержит регулятор расхода с контролирующим элементом, три гидроаккумулятора, всасывающий трубопровод и емкость для реагента, причем первый гидроаккумулятор включен в подводящую трубу за ударным клапаном, второй гидроаккумулятор включен в подводящую трубу до напорного колпака, третий гидроаккумулятор и регулятор расхода последовательно включены в нагнетательную трубу, соединенную вторым концом с подводящей трубой на участке перед контролирующим элементом, а всасывающий трубопровод соединен с впускным клапаном и емкостью для реагента» [17].

Авторами патента №2361819 предложен «способ, включающий ионирование воды в катионитовых и анионитовых фильтрах, регенерацию фильтров и электрохимическую обработку отличающийся тем, что отработавший регенерационный раствор после регенерации анионообменных фильтров подвергают электрохимической обработке в средней камере трехкамерного электролизера с ионообменными мембранами. Образующуюся в катодной и анодной камерах щелочь и кислоту используют для регенерации ионообменных фильтров.

Использование предлагаемого способа обессоливания воды по сравнению с существующими имеет следующие преимущества:

- а) электрохимическая обработка сточных вод анионитовых фильтров приводит к снижению концентрации сульфатов и хлоридов в сточной воде;
- б) растворы щелочи и кислоты, получаемые при электрохимической обработке сточных вод анионитовых фильтров, пригодны для их использования в процессе регенерации ионитовых фильтров» [20].

Предложенное авторами изобретение в соответствии с патентом RU2470876 может быть использовано в процессах очистки конденсата от нефтепродуктов.

Технический результат достигается тем, что «предлагаемое устройство для очистки конденсата от нефтепродуктов содержит цилиндрический корпус с коническим днищем и крышкой, внутри которого помещена подъемно-контактная труба. Труба закрыта у своей нижней кромки распределителем, представляющим собой перфорированную горизонтальную перегородку. В результате уменьшения количества жидкости, отводимой с пеной, и использования подъемно-контактной трубы предлагаемое устройство для очистки конденсата от нефтепродуктов обеспечивает повышение эффективности работы отстойника» [25].

#### **1.4 Выбор и обоснование решения по модернизации установки химводоподготовки**

В связи с вводом в эксплуатацию третьего агрегата карбамида мощность по конденсату увеличилась со 180 до 300 м<sup>3</sup>/ч. Конденсат, поступающий с производства карбамида, не соответствует требованиям по нормам, предъявляемым к качеству производственных конденсатов и деминерализованной воды. Поэтому действующую схему химводоподготовки необходимо модернизировать, чтобы обеспечить требуемое качество конденсата для глубокого обессоливания и увеличение мощности по конденсату в целом.

Производственный конденсат с температурой не более 80 °С поступает в бак для сбора конденсата, где он накапливается для использования в процессе деминерализации. В соответствии с требованиями его температура при необходимости деминерализации не должна превышать 60 °С, поэтому схемой необходимо предусмотреть теплообменник. Принимаем для

охлаждения конденсата от 80 °С до 60 °С пластинчатый теплообменник, который необходимо рассчитать и выбрать соответствующую конструкцию.

Применение пластинчатого теплообменника обеспечит:

- высокий коэффициент теплопередачи;
- снижение затрат на эксплуатацию и обслуживание теплообменников;
- уменьшение площади, занимаемой теплообменным оборудованием.

Требования по нормам, предъявляемым к качеству производственных конденсатов и деминерализованной воды, приведены в таблице 2 [14].

Таблица 2 – Требования по нормам, предъявляемым к качеству производственных конденсатов и деминерализованной воды

Наименование показателя	Нормы, предъявляемые к качеству	
	производственных конденсатов	деминерализованной воды
Жесткость общая, мкмоль/дм <sup>3</sup> , не более	3,0	3,0
Натрий Na, мкг/дм <sup>3</sup> , не более	3000	10
Содержание соединений железа (в пересчёте на Fe), мкг/дм <sup>3</sup> не более	20,0	20,0
Содержание кремниевой кислоты (в пересчёте на SiO <sub>2</sub> ), мкг/дм <sup>3</sup> не более	20,0	20,0
Содержание жиров и масел, мг/дм <sup>3</sup> не более	0,3	0,05

Как видно из таблицы 2, содержание жиров и масел в производственных конденсатах составляет 0,3 мг/дм<sup>3</sup> при норме в деминерализованной воде 0,05 мг/дм<sup>3</sup>. Так как содержание жиров и масел в производственных конденсатах больше нормы в 6 раз, требуется дополнительная очистка конденсата от нефтепродуктов.

Очистка конденсата от жиров и масел может выполняться методом отстоя в резервуарах и в сорбционных фильтрах.

Очистка методом отстоя применяется при содержании нефтепродуктов более 10 мг/ дм<sup>3</sup>, а содержание жиров и масел в производственных конденсатах составляет 0,3 мг/дм<sup>3</sup>, поэтому этот метод не может быть применим.



Для очистки конденсата от жиров и масел принимаем угольные фильтры, работающие по одноступенчатой схеме с использованием в качестве фильтрующего материала гранулированный активированный кокосовый уголь AquaSorb HS (АкваСорб HS).

При этом скорость фильтрования конденсатов, содержащих жиры и масла, должны быть 7–8 м/ч.

По предлагаемой технологической схеме конденсат из бака с помощью центробежного насоса подается на параллельно работающие угольные фильтры.

Фильтры представляют собой цилиндрические аппараты со сферическим днищем. Угольные фильтры загружены активированным углем марки АкваСорб HS. Так как работа фильтров автоматизирована, процесс фильтрования осуществляется в непрерывном режиме.

Фильтрация проводится сверху вниз, предусмотрен контроль давления с помощью датчиков до и после фильтров. Также предусмотрен контроль давления с помощью манометров до и после фильтров. Для промывки угольных фильтров насосом подается вода из бака для сбора конденсата.

После обратной промывки угольных фильтров вода подается в существующий бассейн нейтрализации. По мере загрязнения «фильтры выводятся на взрыхляющую промывку по следующим параметрам:

- увеличение перепада давлений на работающем фильтре до 0,10–0,15 МПа с одновременным снижением нагрузки;
- времени между промывками угольных фильтров.

После проведения уплотнительной (предварительной) отмывки активированного угля выполняется взрыхляющая промывка фильтра. Она выполняется в следующей последовательности:

- вода подается на фильтр» [22] по рабочей схеме, отмывка происходит 10 минут, при этом первые порции фильтрата сбрасываются;
- после окончания отмывки фильтр включается в работу и устанавливается требуемый расход воды через фильтр.

Предлагаемая технологическая схема очистки конденсата от жиров и масел позволит обеспечить содержание нефтепродуктов в конденсатах значительно менее 0,05 мг/дм<sup>3</sup>.

Конденсат пара, поступающий на установку химводоподготовки, имеет показатели, которые приведены в таблице 3 [10].

Таблица 3 – Характеристика конденсата пара

Наименование сырья, материалов, полупродуктов и энергоресурсов	Технические условия, регламент	Наименование показателя	Норма
Конденсат пара процесса	Технологический регламент производства карбамида	рН	9,0-10,0
		Аммиак	не более 20 мг/л
		Жесткость	не более 0,15 мг/л
		Кремнекислота (SiO <sub>2</sub> )	не более 0,02 мг/л
		Железо	не более 0,02 мг/л
		Карбамид и углеаммонийные соли	отсутствие

Как видно из таблицы 3, конденсат содержит аммиак и соли жесткости, поэтому требуется его дополнительная деминерализация перед глубоким обессоливанием.

Поэтому в соответствии с предлагаемой технологией, отфильтрованная вода после очистки на угольных фильтрах поступает на параллельно установленные катионитные фильтры.

Фильтрация проводится по технологии "сжатых слоев" Пьюропак – противоточная регенерация нисходящим потоком. Конденсат движется снизу вверх, регенерационный поток – сверху вниз. Подача исходного конденсата осуществляется с расходом, обеспечивающим поднятие всего объема смолы и удержание ее в течение всего фильтроцикла. На катионитных фильтрах с помощью регуляторов поддерживается автоматически заданный расход воды [21].

Максимальная производительность катионитных фильтров – 300 м<sup>3</sup>/ч.

Катионитные фильтры загружаются ионообменной смолой марки Supergel SGC650H.

В процессе обработки катионит постепенно насыщается катионами, и его поглотительная способность значительно снижается, после чего осуществляется противоточная сверху вниз регенерация катионита соляной кислотой.

В случае неполной выработки фильтроцикла процесс регенерации запускается при достижении показателей содержания натрия Na в фильтрате  $3 \text{ мг/дм}^3$  и содержания аммиака  $\text{NH}_3$   $1,0 \text{ мг/дм}^3$ .

Перед блоком катионитных фильтров измеряется содержание аммиака  $\text{NH}_3$ . Остановка рабочего режима катионитных фильтров выполняется при достижении показателя содержания аммиака  $5,0 \text{ мг/дм}^3$ . После блока катионитных фильтров измеряется содержание аммиака  $\text{NH}_3$ .

Очищенный конденсат после катионитных фильтров направляется в бак смешанной воды или непосредственно на двухкамерные Н/ОН фильтры.

Предлагаемая технологическая схема очистки конденсата на угольных и катионитных фильтрах позволит увеличить производительность установки химводоподготовки по конденсату со  $180 \text{ м}^3/\text{ч}$  до  $300 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Достоинства предлагаемой технологической схемы очистки и деминерализации конденсата:

– использование в угольных фильтрах для очистки от жиров и масел гранулированного активированного угля АкваСорб HS, обладающего максимальной активностью, что обеспечивает применение в технологической схеме минимального количества угольных фильтров;

– применение противоточной технологии "зажатых слоев" Пьюропак и катионита ионообменной смолы марки Supergel SGC650H, позволяющее получить качество воды, соответствующее требованиям для дальнейшего глубокого обессоливания при минимальном количестве катионитных фильтров.

## 2 Технологическая часть

### 2.1 Описание действующей технологической схемы

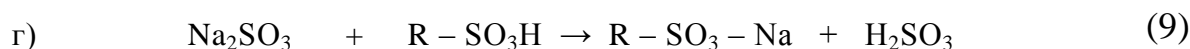
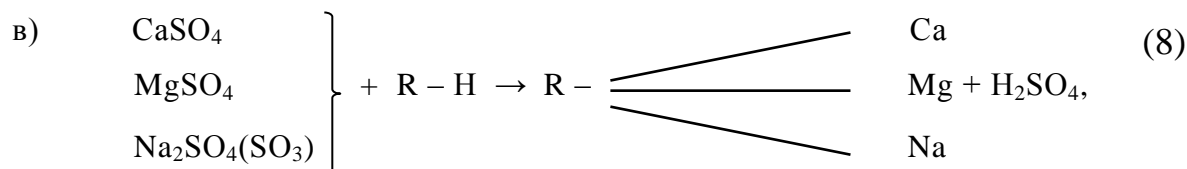
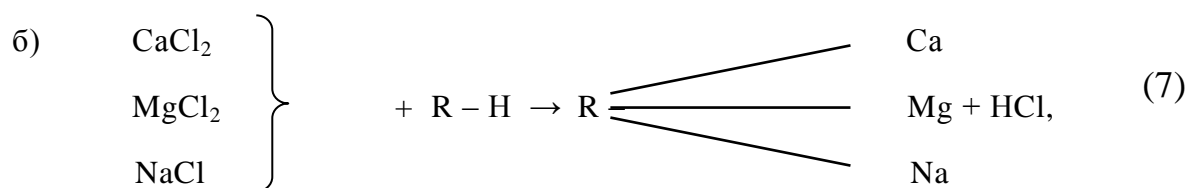
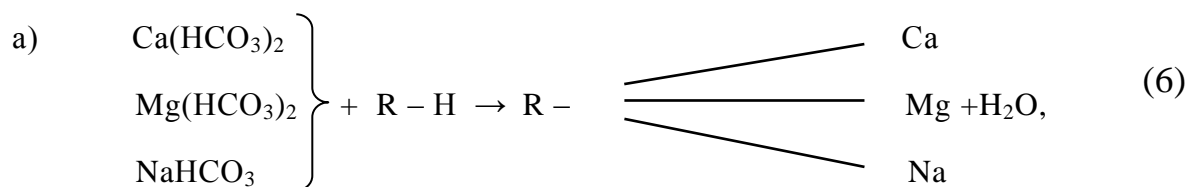
#### ХИМВОДОПОДГОТОВКИ

Осветленная вода из емкости поз.31-S-2 центробежными насосами поз.31-Н-11 А/В подается на катионитовые фильтры поз. 31-V-2А, 34-V-1А, 31-V-2Е, выполненные в виде цилиндрических аппаратов со сферическим дном.

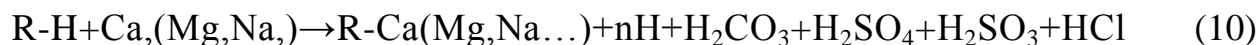
Катионитовые фильтры загружаются ионообменной смолой типа КУ-2-8 (или аналогом импортной поставки). Высота слоя катионита в фильтрах поз.31-V-2А, 34-V-1А – 1350 мм, в фильтре 31-V-2Е – 2500 мм.

В катионитовых фильтрах происходит обмен катионов, которые содержатся в очищаемой воде, на эквивалентное количество катионов водорода.

При этом происходят следующие реакции 6–9:



Упрощенная формула 10:



В результате этой обработки вода становится кислой и pH ее уменьшается до 2,5. При этом катионит постепенно насыщается катионами и поглотительная способность его значительно снижается. Продолжительность рабочего цикла фильтров поз.31-V-2А, 34-V-1А при нормальном качестве поступающей на фильтрование воды – 18 часов, фильтра поз.31-V-2Е – 24 часа, после чего осуществляется регенерация катионита соляной кислотой.

Вода после Н-катионитовых фильтров поступает на слабоосновные поз.31-V-2В, 34-V-1В, 31-V-2F, а затем на сильноосновные поз.31-V-2С, 34-V-1С, 31-V-2G анионитовые фильтры.

Фильтры "В" загружены ионообменной смолой слабоосновного типа марки MWA-1 или аналогом. Высота загрузки – 1250 мм.

Фильтры "С" загружены сильноосновной ионообменной смолой марки АВ-17-8 или ее аналогом. Высота загрузки – 1000 мм.

В фильтре "F" загружена слабоосновная смола высотой 2500 мм.

В фильтре "G" загружен сильноосновной анионит высотой 2500 мм.

Процесс обработки воды анионитом заключается в связывании анионов, присутствующих в воде, по следующим реакциям:

– процесс обработки воды на слабоосновном анионите по реакции 11:



– процесс обработки воды на сильноосновном анионите по реакции 12:



Контроль осуществляется за содержанием SiO<sub>2</sub> в фильтрате (0,1 мг/л) и измеряется электропроводность деминерализованной воды после блоков фильтров.

Продолжительность рабочего цикла фильтров поз.31-V-2В,С и 34-V-1В,С – 18 часов, фильтров поз.31-V-2F,G – 24 часа.

После анионитовых фильтров вода поступает на всас насосов поз.31-Р-8 А/В/С, подающих поток на фильтры смешанного действия поз.31-V-2D, 34-V-1D, 31-V-2Н. Возможна подача воды после блоков поз.31-V-2 А/В/С, 34-V-1 А/В/С, 31-V-2 Е/Ф/Г непосредственно в бак деминерализованной воды поз.31-S-1.

Глубокая деминерализация воды осуществляется в фильтрах поз.31-V-2D, 34-V-1D, 31-V-2Н, на смешанном слое катионита типа КУ-2-8 (или его аналоге) и сильноосновного анионита типа АВ-17-8 (или его аналоге).

В фильтрах поз.31-V-2D, 34-V-1D высота катионита 660 мм; анионита – 625 мм; в фильтре поз.31-V-2Н высота катионита 1040 мм; анионита – 910 мм.

На зернах ионитов фильтров смешанного действия происходят реакции ионного обмена, аналогично процессу в Н- и ОН- фильтрах в соответствии с видом смол.

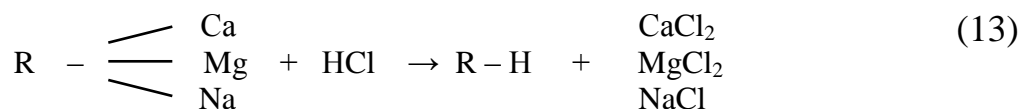
Производительность фильтров поз.31-V-2D, 34-V-1D – 60 м<sup>3</sup>/ч, фильтра 31-V-2Н – 120 м<sup>3</sup>/ч.

Рабочий цикл фильтрации на ионообменных фильтрах проводится до момента истощения рабочей обменной способности ионита.

Этот момент устанавливается для блоков Н- и ОН- фильтров по повышению содержания кремнекислоты в воде после сильноосновного анионитового фильтра более 0,1 мг/л или при повышении электропроводности фильтрата более 10 мкS/см.

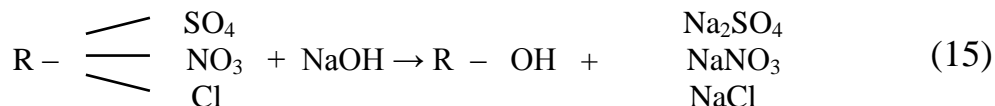
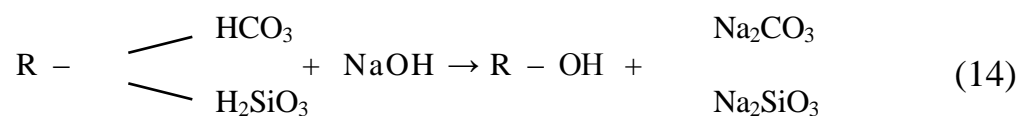
Регенерация катионита производится 7 % раствором соляной кислоты, анионита – 4 % раствором едкого натра.

Регенерация катионита происходит по схеме 13:



т.е. получается исходный катионит.

Удаление кислотных остатков из анионитовой смолы раствором щелочи происходит по схемам 14,15:



Таким образом, получается исходная форма анионитовой смолы.

Соляная кислота принимается из общезаводской сети в емкость поз. 31-S-5. Из емкости поз.31-S-5 кислота поступает к эжектору, к которому подается осветленная вода из линии нагнетания насосов поз.31-H-1 А/В/С.

Едкий натр принимается в емкость поз. 31-S-6. Из емкости 31-S-6 щелочь поступает в эжектор, к которому подается деминерализованная вода из линии после блоков Н- и ОН- фильтров или из линии нагнетания насосов поз.31-P-8А/В/С. Концентрация регенерационных растворов проверяется путем отбора проб.

Регенерация блоков ионообменных фильтров поз.31-V-2А/В/С; 34-V-1А/В/С; 31-V-2Е/Ф/Г может производиться только поочередно. Регенерация фильтров смешанного действия может быть начата только при прекращении регенерации блоков Н- и ОН- фильтров.

В процессе нейтрализации кислых вод основной является реакция 16:



Сбор и нейтрализация стоков от аппаратов химводоподготовки происходит в бетонном резервуаре поз. 31-S-4 емкостью 200 м<sup>3</sup>. Резервуар квадратного сечения заглублен и покрыт изнутри кислотостойким материалом. Нейтрализация стоков проводится после регенерации установки деминерализации.

В бассейн нейтрализации через специальный барботер подается сжатый воздух для перемешивания стоков. При величине рН ниже или выше

установленного (6,5–9) для откачки стоков диапазона, аппаратчик производит корректировку рН стоков путем подачи щелочи или кислоты, в зависимости от уровня рН.

При достижении величины рН в установленном диапазоне включаются насосы поз.31-VP-7С/Д и производится откачка стоков в канализацию [13].

## **2.2 Описание технологической схемы очистки и деминерализация конденсата**

Так как конденсат, поступающий с производства карбамида, не соответствует требованиям по нормам, предъявляемым к качеству производственных конденсатов и деминерализованной воды, была разработана технологическая схема очистки и деминерализации конденсата, которая представлена на рисунке 1.

Смесь технологического, процессового и турбинного конденсата от агрегатов карбамида поступает с максимальным расходом 300 м<sup>3</sup>/ч и температурой не более 80 °С на пластинчатый теплообменник поз. 1 для охлаждения до температуры не более 60 °С. На теплообменник поз. 1 в качестве хладагента подается деминерализованная вода с помощью насоса поз. 3 из бака поз. 2. После теплообменника поз. 1 установлен датчик температуры для контроля величины температуры конденсата после охлаждения не более 60 °С.

Далее охлажденный конденсат направляется в бак для сбора конденсата поз. 4. В баке для сбора конденсата поз. 4 конденсат (с температурой не более 60 °С) накапливается для использования в процессе очистки и деминерализации.



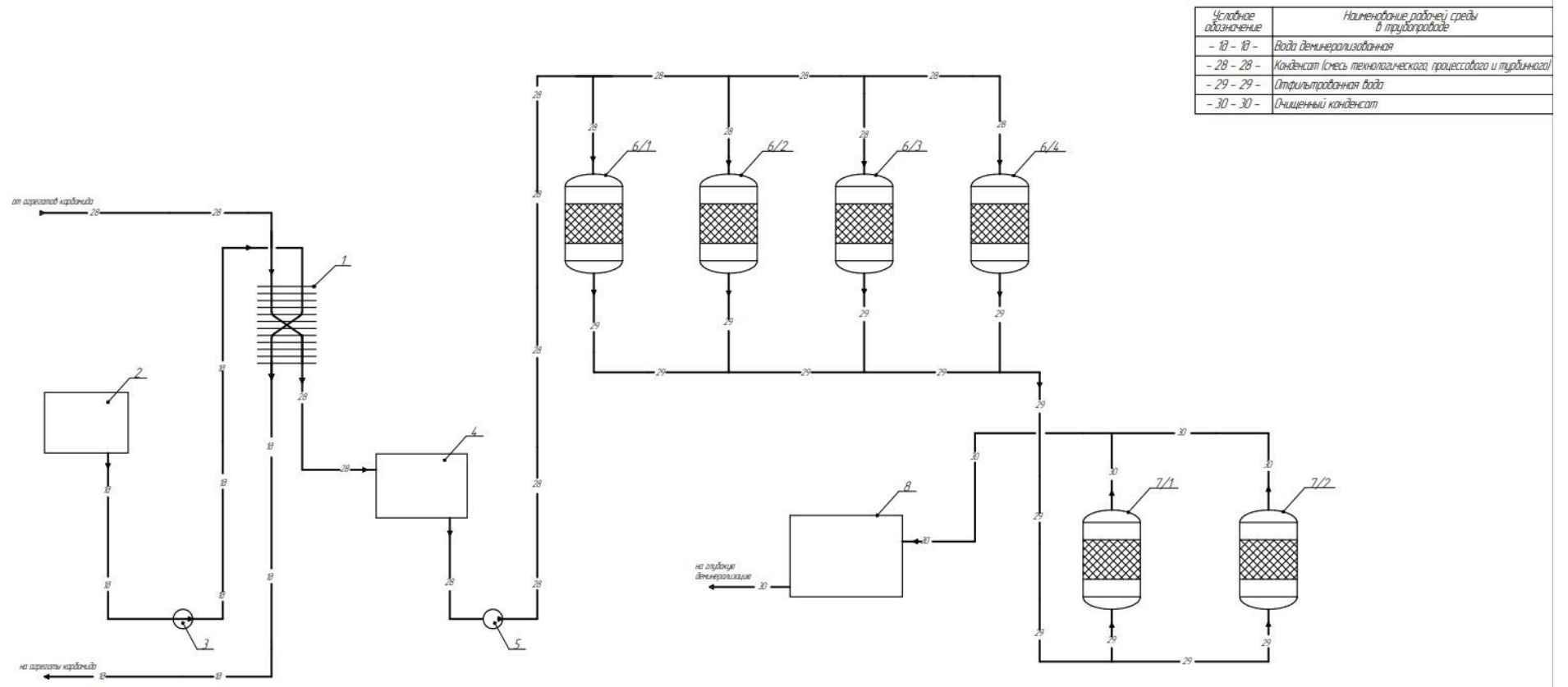


Рисунок 1 – Технологическая схема очистки и деминерализация конденсата

Вода из бака для сбора конденсата поз.4 насосом поз. 5 подается на группу из 4-х параллельно установленных угольных фильтров поз. 6/1–4 (3–4 – в работе, 1–0 – на промывке).

Фильтры представляют собой цилиндрические аппараты со сферическим днищем. Угольные фильтры загружены активированным углем. Пропускная способность четырех угольных фильтров составляет 300 м<sup>3</sup>/час. Работа фильтров осуществляется в непрерывном режиме и полностью автоматизирована.

Фильтрация проводится сверху вниз, предусмотрен контроль давления с помощью датчиков до и после фильтров.

На угольных фильтрах поз. 6/1-4 с помощью регуляторов поддерживаются заданные расходы 75 м<sup>3</sup>/ч воды.

Промывка угольных фильтров осуществляется водой, подаваемой из бака для сбора конденсата поз. 4, при помощи насоса обратной промывки.

Вода, после обратной промывки угольных фильтров, поступает в бассейн нейтрализации.

Время обратной промывки угольных фильтров – 15 минут. Частота промывок – 1 раз в сутки / (в двое суток). Фильтры выводятся на взрыхляющую промывку по мере их загрязнения по следующим показателям:

- увеличению перепада давлений на работающем фильтре до 0,10–0,15 МПа с одновременным снижением нагрузки;

- времени между промывками угольных фильтров (24 ч) / (48ч).

При нормальной работе угольных фильтров, фильтроцикл составляет 3600 м<sup>3</sup>/ч либо 48 часов, далее отключаются на промывку (регенерацию).

Эффективность активированного угля определяется наличием в них микропор. Пустоты активированного угля соединены между собой так, что их структура напоминает структуру древесины. Проходя через слой сорбента, нефтепродукты заполняют объем микропор, полная вместимость которых контролирует поглощающую способность активированного угля.

Отфильтрованная вода после очистки на угольных фильтрах поступает на параллельно установленные два катионитных фильтра поз. 7/1,2 (1 в работе, 1 на регенерации или в резерве), которые представляют собой цилиндрические аппараты со сферическим днищем. Катионитные фильтры предназначены для обмена катионов, содержащихся в воде, на эквивалентное количество катионов водорода.

Фильтрация проводится снизу–вверх, предусмотрен контроль давления с помощью датчиков до и после фильтров. Максимальная производительность одного катионитного фильтра – 300 м<sup>3</sup>/ч. Минимальная производительность одного катионитного фильтра – 75 м<sup>3</sup>/ч.

На катионитных фильтрах поз. 7/1,2 с помощью регуляторов поддерживается автоматически заданный расход (75–300) м<sup>3</sup>/ч воды.

В процессе обработки катионит постепенно насыщается катионами, и его поглощательная способность значительно снижается. После чего осуществляется противоточная сверху вниз регенерация катионита соляной кислотой. Для регенерации ионообменных катионных смол используется 5-% раствор соляной кислоты, получаемой из концентрированной 31,5 % соляной кислоты.

Перед началом регенерации резервный фильтр переводится в рабочий режим, а рабочий фильтр останавливается для проведения регенерации.

Этапы регенерации катионитных фильтров:

- обратная промывка;
- подача 5% раствора соляной кислоты (HCl);
- медленная промывка;
- быстрая промывка.

В случае неполной выработки фильтроцикла процесс регенерации запускается при достижении показателей содержания натрия Na в фильтрате 3 мг/дм<sup>3</sup> и содержания аммиака NH<sub>3</sub> 1,0 мг/дм<sup>3</sup>.

Очищенный конденсат после катионитных фильтров поз. 7/1,2 направляется в бак смешанной воды поз. 8.

### 3 Расчетная часть

#### 3.1 Расчет пластинчатого теплообменника

В соответствии с требованиями по эксплуатации установок химводоподготовки температура конденсата, поступающего на деминерализацию не должна превышать 60 °С, поэтому технологической схемой очистки и деминерализации конденсата принят пластинчатый теплообменник. Принимаем для охлаждения конденсата от 80 °С до 60 °С пластинчатый теплообменник, который необходимо рассчитать и выбрать соответствующую конструкцию.

Данные для расчета:

Параметры горячего теплоносителя (конденсат):

– расход (из материального баланса)  $G_1 = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;

$G_1 = 300 \cdot 1000 / 3600 = 83,3 \text{ кг/с}$ ;

– температура начальная – 80 °С;

– температура конечная – 60 °С;

Параметры холодного теплоносителя (деминерализованная вода):

– температура начальная – 20 °С;

– температура конечная – 35 °С;

Принимаем для горячего теплоносителя – конденсата – индекс 1;

для холодного теплоносителя – деминерализованной воды

– индекс 2.

Движение теплоносителей в пластинчатом теплообменнике противоточное (принимается).

Средняя разность температур по формуле 17:

$$\begin{array}{r} 80 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 60 \text{ }^\circ\text{C} \\ 35 \text{ }^\circ\text{C} \leftarrow 20 \text{ }^\circ\text{C} \\ \hline \Delta t_o = 45 \text{ }^\circ\text{C} \quad \Delta t_m = 40 \text{ }^\circ\text{C} \end{array}$$

$$\text{при } \frac{\Delta t_6}{\Delta t_M} \leq 2; \quad \Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_M}{2}, \quad (17)$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{45 + 40}{2} = 42,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Средняя температура деминерализованной воды:

$$t_2 = (35 + 20)/2 = 27,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Средняя температура конденсата по формуле 18:

$$t_1 = t_2 + \Delta t_{cp}, \quad (18)$$

$$t_1 = 27,5 + 42,5 = 70 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Теплофизические свойства конденсата при  $t_1 = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$  [15, табл. XXVII]:

плотность  $\rho_1 = 978 \text{ кг/м}^3$ ;

удельная теплоемкость  $c_1 = 4,187 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ ;

коэффициент теплопроводности  $\lambda_1 = 0,668 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$ ;

динамическая вязкость  $\mu_1 = 0,406 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ;

критерий Прандтля  $Pr_1 = 2,55$ .

Теплофизические свойства деминерализованной воды при  $t_2 = 27,5 \text{ } ^\circ\text{C}$  [15, табл. XXVIII]:

плотность  $\rho_2 = 996 \text{ кг/м}^3$ ;

удельная теплоемкость  $c_2 = 4,18 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ ;

коэффициент теплопроводности  $\lambda_2 = 0,607 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$ ;

динамическая вязкость  $\mu_2 = 0,852 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ;

критерий Прандтля  $Pr_2 = 5,82$ .

Тепловая нагрузка теплообменника со стороны конденсата по формуле 19:

$$Q = G_1 \cdot c_1 (t_{1H} - t_{1Н}), \quad (19)$$

где  $G_1$  – массовый расход конденсата, кг/с;

$c_1$  – удельная теплоемкость конденсата, Дж / (кг · К);

$t_{1н}$ ,  $t_{1к}$  – начальная и конечная температура конденсата, °С.

$$Q = 83,3 \cdot 4,187 \cdot (80 - 60) = 6975,5 \text{ кВт.}$$

Расход деминерализованной воды по формуле 20:

$$G_2 = \frac{Q}{c_2(t_{2к} - t_{2н})}, \quad (20)$$

где  $Q$  - тепловая нагрузка аппарата со стороны деминерализованной воды, кДж;

$c_2$  – удельная теплоемкость деминерализованной воды, Дж / (кг · К);

$t_{2н}$ ,  $t_{2к}$  – начальная и конечная температура деминерализованной воды, °С.

$$G_2 = \frac{6975,5}{4,18(35 - 20)} = 111,3 \text{ кг/с.}$$

Ориентировочное значение коэффициента теплопередачи принимается по данным табл. 3.4 [15]. Принимаем  $K_{ор} = 1200 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

Ориентировочная площадь поверхности теплообмена по формуле 21:

$$F_{ор.} = \frac{Q}{K \Delta t_{ср}}, \quad (21)$$

где  $Q$  – тепловая нагрузка, Вт;

$K$  – коэффициент теплопередачи  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;

$\Delta t_{ср}$  – средняя разность температур, °С.

$$F_{ор.} = \frac{6975500}{1200 \cdot 42,5} = 136,8 \text{ м}^2.$$

Рассмотрим «пластинчатый теплообменник типа ТПР поверхность пластины  $f = 0,6 \text{ м}^2$  [12, табл. 3.56]:

– поверхность  $F = 140 \text{ м}^2$ ;

– количество пластин  $N = 228$  шт.

Техническая характеристика пластин  $f = 0,6 \text{ м}^2$ :

– эквивалентный диаметр канала  $d_э = 7,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ;

– поперечное сечение канала  $S = 26,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ;

– приведенная длина канала  $L_n = 0,89 \text{ м}$ ;

– габаритные размеры: длина 1375 мм; ширина 600 мм; толщина 1 мм»

[12].

С целью увеличения коэффициентов теплоотдачи увеличиваем число пакетов (ходов) в теплообменнике. Выбираем компоновку пластин по три симметричных пакета. Тогда количество межпластинных каналов в каждом пакете составит 38.

Скорость конденсата в 38 каналах по формуле 22:

$$w_1 = \frac{G_1}{\rho_1 \cdot m \cdot S}, \quad (22)$$

где  $G_1$  – массовый расход конденсата, кг/с;

$\rho_1$  – плотность конденсата, кг/м<sup>3</sup>;

$m$  – количество каналов;

$S$  – поперечное сечение канала, м<sup>2</sup>.

$$w_1 = \frac{83,3}{978 \cdot 38 \cdot 26,2 \cdot 10^{-4}} = 0,86 \text{ м/с}$$

Режим движения конденсата по каналам по формуле 23:

$$Re_1 = \frac{w_1 \cdot d_3 \cdot \rho_1}{\mu_1}, \quad (23)$$

где  $w_1$  – скорость конденсата, м/с;

$d_3$  – эквивалентный диаметр канала, м;

$\rho_1$  – плотность конденсата, кг/м<sup>3</sup>;

$\mu_1$  – динамическая вязкость конденсата, Па·с.

$$Re_1 = \frac{0,86 \cdot 7,4 \cdot 10^{-3} \cdot 978}{0,406 \cdot 10^{-3}} = 15330 > 100;$$

следовательно, режим турбулентный. Для этого случая находим коэффициент теплоотдачи для конденсата по формуле 24:

$$\alpha_1 = \frac{\lambda_1}{d_3} 0,135 \cdot Re_1^{0,73} \cdot Pr_1^{0,33} \cdot \left( \frac{Pr}{Pr_{ст}} \right)^{0,25}, \quad (24)$$

где  $\lambda_1$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);

$d_3$  – эквивалентный диаметр канала, м;

$Re_1$  – критерий Рейнольдса;

$Pr_1$  – критерий Прандтля.

Принимаем  $Pr = Pr_{ст}$ .

$$\alpha_1 = \frac{0,668}{0,0074} 0,135 \cdot 15330^{0,73} \cdot 2,55^{0,43} = 20627 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Скорость деминерализованной воды в 38 каналах по формуле 25:

$$w_2 = \frac{G_2}{\rho_2 \cdot m \cdot S}, \quad (25)$$

где  $G_2$  – массовый расход деминерализованной воды, кг/с;

$\rho_2$  – плотность деминерализованной воды, кг/м<sup>3</sup>;

$m$  – количество каналов;



$S$  – поперечное сечение канала,  $\text{м}^2$ .

$$w_2 = \frac{111,3}{996 \cdot 38 \cdot 26,2 \cdot 10^{-4}} = 1,12 \text{ м/с.}$$

Режим движения деминерализованной воды по каналам по формуле 26:

$$Re_2 = \frac{w_2 \cdot d_3 \cdot \rho_2}{\mu_2}, \quad (26)$$

где  $w_2$  – скорость деминерализованной воды,  $\text{м/с}$ ;

$d_3$  – эквивалентный диаметр канала,  $\text{м}$ ;

$\rho_2$  – плотность деминерализованной воды,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\mu_2$  – динамическая вязкость деминерализованной воды,  $\text{Па} \cdot \text{с}$ .

$$Re_2 = \frac{1,12 \cdot 7,4 \cdot 10^{-3} \cdot 996}{0,852 \cdot 10^{-3}} = 9689 > 100;$$

следовательно, режим турбулентный. Для этого случая находим коэффициент теплоотдачи для деминерализованной воды по формуле 27:

$$\alpha_2 = \frac{\lambda_2}{d_3} 0,135 \cdot Re_2^{0,73} \cdot Pr_2^{0,33} \cdot \left( \frac{Pr}{Pr_{ст}} \right)^{0,25}, \quad (27)$$

где  $\lambda_2$  – коэффициент теплопроводности,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ;

$d_3$  – эквивалентный диаметр канала,  $\text{м}$ ;

$Re_2$  – критерий Рейнольдса;

$Pr_2$  – критерий Прандтля.

Принимаем  $Pr = Pr_{ст}$ .

$$\alpha_2 = \frac{0,607}{0,0074} 0,135 \cdot 9689^{0,73} \cdot 5,82^{0,43} = 19171 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Коэффициент теплопередачи по формуле 28:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \Sigma R_{ст} + \frac{\delta}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (28)$$

где « $R_{ст}$  – сопротивление теплопередаче загрязненной стенки,  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$

$R_{ст1} = 2900 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ,  $R_{ст2} = 2900 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ , [15, табл. XXXI];

$\lambda_{ст}$  – коэффициент теплопроводности стенки,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ;

$\lambda_{ст} = 17,5 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$  для коррозионно-стойкой стали; [15, табл. XXVIII];

$\delta$  – толщина стенки, м» [15].

$$K = \frac{1}{\frac{1}{20627} + \frac{1}{2900} + \frac{1}{2900} + \frac{0,001}{17,5} + \frac{1}{19171}} = 1365,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Требуемая поверхность теплообмена:

$$F_p = \frac{6975500}{1365,8 \cdot 42,5} = 120,1 \text{ м}^2.$$

Проверяем необходимый запас поверхности принятого нормализованного пластинчатого теплообменника по формуле 29:

$$\Delta = \frac{F - F_p}{F_p} 100\%, \quad (29)$$

$$\Delta = \frac{140 - 120,1}{120,1} 100\% = 16,6 \text{ \%}.$$

Запас попадает в рекомендуемый интервал  $15 \div 30 \text{ \%}$ .

Принимаем к установке «разборный пластинчатый теплообменник типа ТПР со следующими данными [12, табл. 3.56]:

- поверхность теплообмена  $F = 140 \text{ м}^2$ ;
- поверхность пластины  $f = 0,6 \text{ м}^2$ ;
- количество пластин  $N = 228$  шт.
- число последовательно работающих пакетов  $X = 3$ ;
- габаритные размеры пластины: длина 1375 мм; ширина 600 мм; толщина 1 мм» [12].

### 3.2 Технологический расчет угольных фильтров

В разработанной технологической схеме очистки и деминерализации конденсата для очистки конденсата от жиров и масел приняты четыре угольных фильтра, которые необходимо рассчитать и выбрать соответствующую конструкцию.

Данные для расчета:

количество угольных фильтров – 4;

производительность по конденсату –  $300 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;

марка активированного угля – AQUASORB-HS;

средний диаметр гранул – 0,6–2,3 мм.

Общая площадь фильтрования по формуле 30:

$$F_{\phi} = \frac{Q_{\text{ч}}}{w_{\phi}}, \quad (30)$$

где  $Q_{\text{ч}}$  – объемный расход конденсата,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$w_{\phi}$  – скорость фильтрования,  $\text{м}/\text{ч}$ .

Рекомендуемая скорость фильтрования для активированного угля AQUASORB-HS – 9–14  $\text{м}/\text{ч}$ . Принимаем  $w = 11 \text{ м}/\text{ч}$ .

$$F_{\phi} = \frac{300}{11} = 27,3 \text{ м}^2.$$

Площадь одного фильтра:

$$F = 27,3/4 = 6,8 \text{ м}^2.$$

Диаметр фильтра по формуле 31:

$$D = \sqrt{\frac{F_{\phi}}{0,785}}, \quad (31)$$

$$D = \sqrt{\frac{6,8}{0,785}} = 2,94 \text{ м.}$$

Принимаем диаметр угольных фильтров 3000 мм.

Действительная скорость фильтрования по формуле 32:

$$w = \frac{Q_{\text{ч}}}{0,785D^2}, \quad (32)$$

где  $Q_{\text{ч}}$  – объемный расход конденсата на один фильтр,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$$Q_{\text{ч}} = 300/4 = 75 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$D$  – диаметр фильтра в м.

$$w_{\phi} = \frac{75}{0,785 \cdot 3^2} = 10,6 \text{ м/ч.}$$

Рекомендуемая высота слоя активированного угля AQUASORB-HS – 1-3 м. Принимаем  $H = 1400$  мм.

Фактическая площадь фильтрования угольного фильтра:

$$F_{\phi} = 75/10,6 = 7 \text{ м}^2.$$

Объем конденсата на обратную промывку фильтрующей загрузки угольного фильтра по формуле 33:

$$V_{обр} = \frac{i \cdot F_{\phi} \cdot 60 \cdot t_{обр}}{1000}, \quad (33)$$

где  $i$  - интенсивность обратной промывки фильтров, л/(с·м<sup>2</sup>);

рекомендуемая для обратной промывки при крупности гранул 0,6–2,3 мм  $i = 5$  л/(с·м<sup>2</sup>) [10];

$F_{\phi}$  – площадь фильтрования угольного фильтра, м<sup>2</sup>;

$t_{обр.}$  – время обратной промывки, мин. Принимаем  $t_{обр.} = 15$  мин. [10].

Частота обратной промывки фильтрующей загрузки угольного фильтра 1 раз в сутки.

$$V_{обр.} = \frac{5 \cdot 7 \cdot 60 \cdot 15}{1000} = 31,5 \text{ м}^3.$$

Объем конденсата на уплотняющую промывку фильтрующей загрузки угольного фильтра по формуле 34:

$$V_{упл.} = \frac{w_{\phi} \cdot F_{\phi} \cdot t_{упл.}}{60}, \quad (34)$$

где  $w_{\phi}$  – скорость фильтрования, м/ч;

$F_{\phi}$  – площадь фильтрования угольного фильтра, м<sup>2</sup>;

$t_{упл.}$  – время обратной промывки, мин. Принимаем  $t_{упл.} = 10$  мин. [10].

Частота уплотняющей промывки фильтрующей загрузки угольного фильтра 1 раз в сутки.

$$V_{упл.} = \frac{10,6 \cdot 7 \cdot 10}{60} = 12,4 \text{ м}^3.$$

Суммарный объем конденсата на промывку одного угольного фильтра по формуле 35:

$$V_{\phi} = V_{обр} + V_{упл.}, \quad (35)$$

$$V_{\phi} = 31,5 + 12,4 = 43,9 \text{ м}^3.$$

Периодичность промывки фильтрующего материала фильтров – в зависимости от данных по грязеемкости материала. Объем конденсата на промывку всех фильтров в сутки по формуле 36:

$$V_{об} = V_{\phi} \cdot n_{\phi}, \quad (36)$$

где  $V_{\phi}$  – объем конденсата на промывку одного угольного фильтра,  $\text{м}^3$ ;

$n_{\phi}$  – количество угольных фильтров в работе.

$$V_{об.} = 43,9 \cdot 4 = 175,6 \text{ м}^3.$$

Данные расхода конденсата при промывке угольных фильтров поз. 6/1–4 приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Расход конденсата при промывке угольных фильтров поз. 6/1–4

Операция	Поток	Расход, $\text{м}^3$		Время операции, мин.
		на одну операцию	за сутки	
Обратная промывка	Охлажденный конденсат из бака поз. 4	31,5	31,5	15
Уплотняющая промывка	Охлажденный конденсат из бака поз. 4	12,4	12,4	10
Итого		43,9	43,9	25 (0,4 ч)
Итого (на четыре фильтра)		175,6	175,6	

Принимаем 4 угольных фильтра со следующими характеристиками:

- диаметр – 3000 мм;
- высота слоя активированного угля AQUASORB-HS – 1400 мм;
- высота цилиндрической части – 2500 мм.

Материальный баланс угольного фильтра представлен в таблице 5.

Таблица 5– Материальный баланс угольного фильтра

Приход, м <sup>3</sup> /сутки		Расход м <sup>3</sup> /сутки	
Конденсат на фильтр	1839,9	Конденсат после фильтра	1800
		Конденсат на обратную промывку	31,5
		Конденсат на уплотняющую промывку	8,4
Всего:	1839,9	Всего:	1839,9

### 3.3 Технологический расчет катионитных фильтров

Разработанной технологической схемой очистки и деминерализации воды конденсата для удаления аммиака и других катионов приняты два катионитных фильтра, которые необходимо рассчитать и выбрать соответствующую конструкцию.

Данные для расчета:

количество катионитных фильтров – 2 (1 в работе, 1 на регенерации или в резерве);

производительность по отфильтрованной воде – 300 м<sup>3</sup>/ч;

содержание NH<sub>3</sub> в исходной отфильтрованной воде – 2,5 мг-экв/дм<sup>3</sup>;

содержание NH<sub>3</sub> в фильтрате – 0 мг/дм<sup>3</sup>;

ионообменная смола марки Supergel SGC650H;

средний диаметр зерен – 0,67 мм.

Требуемая площадь фильтрования для одного фильтра по формуле 37:

$$F_{\phi} = \frac{Q_{\text{ч}}}{w}, \quad (37)$$

где Q<sub>ч</sub> – объемный расход отфильтрованной воды, м<sup>3</sup>/ч; V<sub>ч</sub> = 300 м<sup>3</sup>/ч;

w – скорость фильтрования, м/ч.

Рекомендуемая скорость фильтрования для ионообменной смолы марки Supergel SGC650H – 40–70 м/ч. Принимаем w = 60 м/ч [17].

$$F_{\phi} = 300/60 = 5 \text{ м}^2.$$

Диаметр фильтра по формуле 38:

$$D = \sqrt{\frac{F_{\phi}}{0,785}}, \quad (38)$$

$$D = \sqrt{\frac{5}{0,785}} = 2,52 \text{ м.}$$

Принимаем стандартный диаметр катионитных фильтров 2600 мм [10].

Действительная скорость фильтрования отфильтрованной воды по формуле 39:

$$w_{\phi} = \frac{V_{\phi}}{0,785D^2}, \quad (39)$$

$$w_{\phi} = \frac{300}{0,785 \cdot 2,6^2} = 56,5 \text{ м/ч}$$

Объем катионита Н- катионитных фильтров по формуле 40:

$$W_{\text{H}} = \frac{24 \cdot q_{\text{пол}}^{\text{H}} \cdot C_{\text{NH}_3}}{n \cdot E_{\text{раб}}^{\text{H}}}, \quad (40)$$

где  $q_{\text{пол}}^{\text{H}}$  – расход отфильтрованной воды, подаваемой на катионитный фильтр, м<sup>3</sup>/ч;

$C_{\text{NH}_3}$  – содержание NH<sub>3</sub> в исходной отфильтрованной воде, г-экв/м<sup>3</sup>;

$n$  – число регенераций фильтра в сутки ( $n=1-3$ ) [10];

$E_{\text{раб}}^{\text{H}}$  – рабочая обменная емкость Н-катионита, г-экв/м<sup>3</sup>.

Рабочая ионообменная емкость Н-катионита по формуле 41:



$$E_{\text{раб.}}^{\text{H}} = \alpha \cdot E_{\text{полн}} - 0,5 \cdot q_{\text{от}} \cdot C_{\text{каи}} \quad (41)$$

где  $\alpha$  – коэффициент эффективности регенерации Н–катионита, учитывающий неполноту регенерации катионита;

$$\alpha = 0,92 \text{ [10, табл. 9.5];}$$

$E_{\text{полн}}$  – полная обменная емкость катионита г-экв/м<sup>3</sup>;

$q_{\text{от}}$  – удельный расход деминерализованной воды на отмывку катионита м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

рекомендуемый расход 4-5 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>; принимаем  $q_{\text{от}} = 4 \text{ м}^3/\text{м}^3 \text{ [10];}$

$C_{\text{кат}}$  – общее содержание в воде катионов, г-экв/м<sup>3</sup>;

$$C_{\text{кат}} = 2,5 \text{ г-экв/м}^3.$$

$$E_{\text{раб.}}^{\text{H}} = 0,92 \cdot 2000 - 0,5 \cdot 4 \cdot 2,5 = 1835 \text{ г-экв/м}^3.$$

$$W_H = \frac{24 \cdot 300 \cdot 2,5}{1 \cdot 1835} = 9,8 \text{ м}^3.$$

Высота слоя катионита по формуле 42:

$$H = \frac{W_H}{0,785 D^2}, \quad (42)$$

$$H = \frac{9,8}{0,785 \cdot 2,6^2} = 1,8 \text{ м.}$$

Фактическая площадь фильтрования катионитного фильтра:

$$F_{\phi} = 300/56,5 = 5,3 \text{ м}^2.$$

Фактическое число регенераций фильтра в сутки по формуле 43:

$$n_{\phi} = \frac{24 \cdot q_{\text{пол}}^{\text{H}} \cdot C_{\text{NH}_3}}{F_{\phi} \cdot H \cdot E_{\text{раб.}}^{\text{H}}}, \quad (43)$$

где  $q_{\text{пол}}^{\text{H}}$  – расход конденсата, подаваемого на катионитный фильтр,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$C_{\text{NH}_3}$  – содержание  $\text{NH}_3$  в исходном конденсате, г-экв/ $\text{м}^3$ ;

$F_{\text{ф}}$  – площадь фильтрования катионитного фильтра,  $\text{м}^2$ ;

$H$  – высота слоя катионита, м;

$E_{\text{раб.}}^{\text{H}}$  – рабочая обменная емкость Н-катионита, г-экв/ $\text{м}^3$ .

$$n = \frac{24 \cdot 300 \cdot 2,5}{5,3 \cdot 1,8 \cdot 1837,5} = 1,02.$$

Расчет количества деминерализованной воды производится отдельно по каждой операции в соответствии с разработанной режимной картой.

Этапы регенерации катионитного фильтра:

- обратная промывка;
- подача 5% раствора соляной кислоты ( $\text{HCl}$ );
- медленная промывка;
- быстрая промывка.

Расход деминерализованной воды определяется на один фильтр.

Расход деминерализованной воды на обратную промывку катионитного фильтра по формуле 44:

$$Q_{\text{обр}} = \frac{i \cdot F_{\text{ф}} \cdot 60 \cdot t_{\text{обр}}}{1000}, \quad (44)$$

где  $i$  – интенсивность обратной промывки фильтров, л/( $\text{с} \cdot \text{м}^2$ );

рекомендуемая для обратной промывки при крупности зерен 0,5-1,1 мм  $i = 4$  л/( $\text{с} \cdot \text{м}^2$ ) [10];

$F_{\text{ф}}$  – площадь фильтрования катионитного фильтра,  $\text{м}^2$ ;

$t_{\text{обр.}}$  – время обратной промывки, мин. Принимаем  $t_{\text{обр.}} = 15$  мин.

$$Q_{\text{обр.}} = \frac{4 \cdot 5,3 \cdot 60 \cdot 15}{1000} = 19,1 \text{ м}^3.$$

Расход 100% соляной кислоты на регенерацию катионитного фильтра по формуле 45:

$$G_{HCl} = \frac{E_{\text{раб.}}^H \cdot F_{\phi} \cdot H \cdot q_{HCl}}{1000}, \quad (45)$$

где  $E_{\text{раб.}}^H$  – рабочая обменная емкость H-катионита, г-экв/м<sup>3</sup>;

$F_{\phi}$  – площадь фильтрования катионитного фильтра, м<sup>2</sup>;

$H$  – высота слоя катионита, м;

$q_{HCl}$  – удельный расход соляной кислоты, г/г-экв;

принимается  $q_{HCl} = 45$  г/г-экв. [10].

$$G_{HCl} = \frac{1837,5 \cdot 5,3 \cdot 1,8 \cdot 45}{1000} = 798 \text{ кг.}$$

Регенерация катионитных фильтров производится рабочим регенерационным раствором – 5% раствором соляной кислоты, получаемым из концентрированной 31,5 % соляной кислоты.

Тогда расход 31,5% раствора соляной кислоты по формуле 46:

$$Q_{HCl} = \frac{G_{HCl} \cdot 100}{31,5 \cdot \rho}, \quad (46)$$

где  $G_{HCl}$  – расход 100 % соляной кислоты на регенерацию катионитного фильтра, кг;

$\rho$  – плотность 31,5% раствора соляной кислоты, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho = 1156$  кг/м<sup>3</sup>.

$$Q_{HCl} = \frac{798 \cdot 100}{31,5 \cdot 1156} = 2,2 \text{ м}^3.$$

Расход деминерализованной воды на приготовление 5% раствора соляной кислоты по формуле 47:

$$Q_{pp} = \frac{G_{HCl} \cdot 100}{1000 \cdot c_{pp} \cdot \rho_{pp}}, \quad (47)$$

где  $G_{HCl}$  – расход соляной кислоты на регенерацию, кг;

$c_{pp}$  – концентрация рабочего раствора соляной кислоты, %;

$\rho$  – плотность 5% раствора соляной кислоты, кг/дм<sup>3</sup>;

$\rho = 1,023$  кг/дм<sup>3</sup>.

$$Q_{pp} = \frac{798 \cdot 100}{1000 \cdot 5 \cdot 1,023} = 15,6 \text{ м}^3.$$

Расход деминерализованной воды на медленную промывку катионитного фильтра по формуле 48:

$$Q_{m.n.} = q_{m.n.} \cdot F_{\phi} \cdot H, \quad (48)$$

где  $q_{m.n.}$  – удельный расход деминерализованной воды на медленную промывку, равный 4 – 6 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> катионитовой загрузки; принимаем  $q_{m.n.} = 6$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> [10];

$F_{\phi}$  – площадь фильтрования катионитного фильтра, м<sup>2</sup>;

$H$  – высота слоя катионита, м.

$$Q_{m.n.} = 6 \cdot 5,3 \cdot 1,8 = 57,2 \text{ м}^3.$$

Расход деминерализованной воды на быструю промывку катионитного фильтра по формуле 49:

$$Q_{b.n.} = q_{b.n.} \cdot F_{\phi} \cdot H, \quad (49)$$

где  $q_{b.n.}$  – удельный расход деминерализованной воды на быструю промывку, равный 2 – 3 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> катионитной загрузки; принимаем  $q_{b.n.} = 3$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> [10];

$F_{\phi}$  – площадь фильтрования катионитного фильтра, м<sup>2</sup>;

$H$  – высота слоя катионита, м.

$$Q_{б.н.} = 3 \cdot 5,3 \cdot 1,8 = 28,6 \text{ м}^3.$$

Расход деминерализованной воды на регенерацию катионитного фильтра по формуле 50:

$$Q_{рег.} = Q_{обр.} + Q_{pp.} + Q_{м.п.} + Q_{б.н.}, \quad (50)$$

$$Q_{рег.} = 19,1 + 15,6 + 57,2 + 28,6 = 120,5 \text{ м}^3.$$

Среднечасовой расход деминерализованной воды на внутренний цикл по формуле 51:

$$Q_{вн} = \frac{Q_{рег.} \cdot n_{\phi}}{24}, \quad (51)$$

где  $Q_{рег.}$  – расход деминерализованной воды на регенерацию катионитного фильтра,  $\text{м}^3$ ;

$n_{\phi}$  – число регенераций катионитного фильтра в сутки.

$$Q_{вн} = \frac{120,5 \cdot 1,02}{24} = 4,9 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Продолжительность регенерации катионитного фильтра по формуле 52:

$$t_{рег.} = t_{обр.} + t_{pp.} + t_{м.п.} + t_{б.н.}, \quad (52)$$

где  $t_{обр.}$  – продолжительность обратной промывки, мин.;  $t_{обр.} = 30$  мин.;

$t_{pp.}$  – продолжительность пропускания регенерационного раствора, мин.;

$t_{м.п.}$  – продолжительность медленной промывки, мин.;

$t_{б.п.}$  – продолжительность быстрой промывки, мин.

Продолжительность пропускания регенерационного раствора – 5 % раствора соляной кислоты через катионитный фильтр по формуле 53:

$$t_{pp} = \frac{Q_{pp} \cdot 60}{w_{pp} \cdot F_{\phi}}, \quad (53)$$

где  $Q_{pp}$  – расход деминерализованной воды на приготовление 5% раствора соляной кислоты, м<sup>3</sup>;

$w_{pp}$  – скорость пропускания регенерационного раствора, м/ч; принимают не более 10 м/ч, принимаем  $w_{pp} = 5$  м/ч [10];

$F_{\phi}$  – площадь фильтрования катионитного фильтра, м<sup>2</sup>.

$$t_{pp} = \frac{15,6 \cdot 60}{5 \cdot 5,3} = 35 \text{ мин.}$$

Продолжительность медленной промывки катионитного фильтра по формуле 54:

$$t_{м.п.} = \frac{Q_{м.п.} \cdot 60}{w_{м.п.} \cdot F_{\phi}}, \quad (54)$$

где  $Q_{м.п.}$  – расход деминерализованной воды на медленную промывку катионитного фильтра, м<sup>3</sup>;

$w_{м.п.}$  – скорость пропускания деминерализованной воды при медленной промывке, м/ч; принимают не более 10 м/ч, принимаем  $w_{pp} = 8$  м/ч [10];

$F_{\phi}$  – площадь фильтрования катионитного фильтра, м<sup>2</sup>.

$$t_{pp} = \frac{57,2 \cdot 60}{8 \cdot 5,3} = 80 \text{ мин.}$$

Продолжительность быстрой промывки катионитного фильтра по формуле 55:

$$t_{б.п} = \frac{Q_{б.п.} \cdot 60}{w_{б.п.} \cdot F_{\phi}}, \quad (55)$$

где  $Q_{б.п.}$  – расход деминерализованной воды на быструю промывку катионитного фильтра, м<sup>3</sup>;

$w_{б.п.}$  – скорость пропускания деминерализованной воды через катионитный фильтр при быстрой промывке, м/ч; принимают не более 10 м/ч, принимаем  $w_{б.п.} = 10$  м/ч [10];

$F_{\phi}$  – площадь фильтрования катионитного фильтра, м<sup>2</sup>.

$$t_{б.п} = \frac{28,6 \cdot 60}{8 \cdot 5,3} = 30 \text{ мин.}$$

$$t_{рег.} = 30 + 35 + 80 + 30 = 175 \text{ мин.}$$

Межрегенерационный период работы катионитного фильтра по формуле 56:

$$T_n = \frac{24}{n_{\phi}} - \frac{t_{рег.}}{60}, \quad (56)$$

где  $n_{\phi}$  – фактическое число регенераций катионитного фильтра в сутки;

$t_{рег.}$  – продолжительность регенерации катионитного фильтра, мин.

$$T_n = \frac{24}{1,02} - \frac{175}{60} = 20,6 \text{ ч.}$$

Данные расхода деминерализованной воды при промывке катионитного фильтра поз. 7/1–2 приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Расход деминерализованной воды при промывке катионитного фильтра поз. 7/1–2

Операция	Поток	Расход, м <sup>3</sup>		Время операции, мин.
		на одну операцию	за сутки	
Обратная промывка	Деминерализованная вода из бака поз. 8	19,1	19,5	30

Подача кислоты	5% раствор соляной кислоты	15,6	15,9	35
Медленная промывка	Деминерализованная вода из бака поз. 8	57,2	58,3	80
Быстрая промывка	Деминерализованная вода из бака поз. 8	28,6	29,2	30
Итого		120,5	122,9	175 (2,9 ч)

Принимаем 2 катионитных фильтра со следующими характеристиками:

- диаметр – 2600 мм;
- высота слоя ионообменной смолы марки Supergel SGC650H – 1800 мм;
- высота цилиндрической части – 3000 мм.

Материальный баланс катионитного фильтра представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Материальный баланс катионитного фильтра

Приход, м <sup>3</sup> /сутки		Расход, м <sup>3</sup> /сутки	
Конденсат на фильтр	7322,9	Деминерализованная вода после фильтра	7200
		Деминерализованная вода на обратную промывку	19,5
		Деминерализованная вода на подачу кислоты	15,9
		Деминерализованная вода на медленную промывку	58,3
		Деминерализованная вода на быструю промывку	29,2
Всего:	7322,9	Всего:	7322,9

### 3.4 Подбор основного и вспомогательного оборудования

Пластинчатый теплообменник поз. 1 предназначен для охлаждения конденсата до температуры не более 60 °С.

Общий вид пластинчатого теплообменника представлен на рисунке 2.

«Пластинчатый холодильник собран из пакета пластин на прокладках и поддерживающей рамы.

Теплообменник включает следующие узлы и детали:



- опорная лапа;
- пакет пластин;
- фиксирующая крышка;
- подвижная крышка; — опорная стойка;
- стяжные болты;
- направляющая планка (нижняя);
- несущая планка (верхняя);
- соединения под сварку или фланец;
- стяжные гайки» [1].

«Конструктивно разборный пластинчатый холодильник, состоит из рамы и пакета пластин. Рама состоит из неподвижной плиты и прижимной плиты, задней стойки, которая соединена с неподвижной плитой верхней направляющей и нижней направляющей. Рама обеспечивает конструктивную опору и воспринимающую нагрузку от массы и внутреннего давления в теплообменнике» [2].

Между неподвижной и прижимной плитами находится 84 пластины с резиновыми уплотнительными прокладками. Пластина представляет прецизионный отштампованный лист, имеющий гофрированную форму. С каждой стороны пластинчатый холодильник снабжен двумя концевыми пластинами. Пакет прижат к неподвижной плите прижимной плитой стяжными болтами [11].

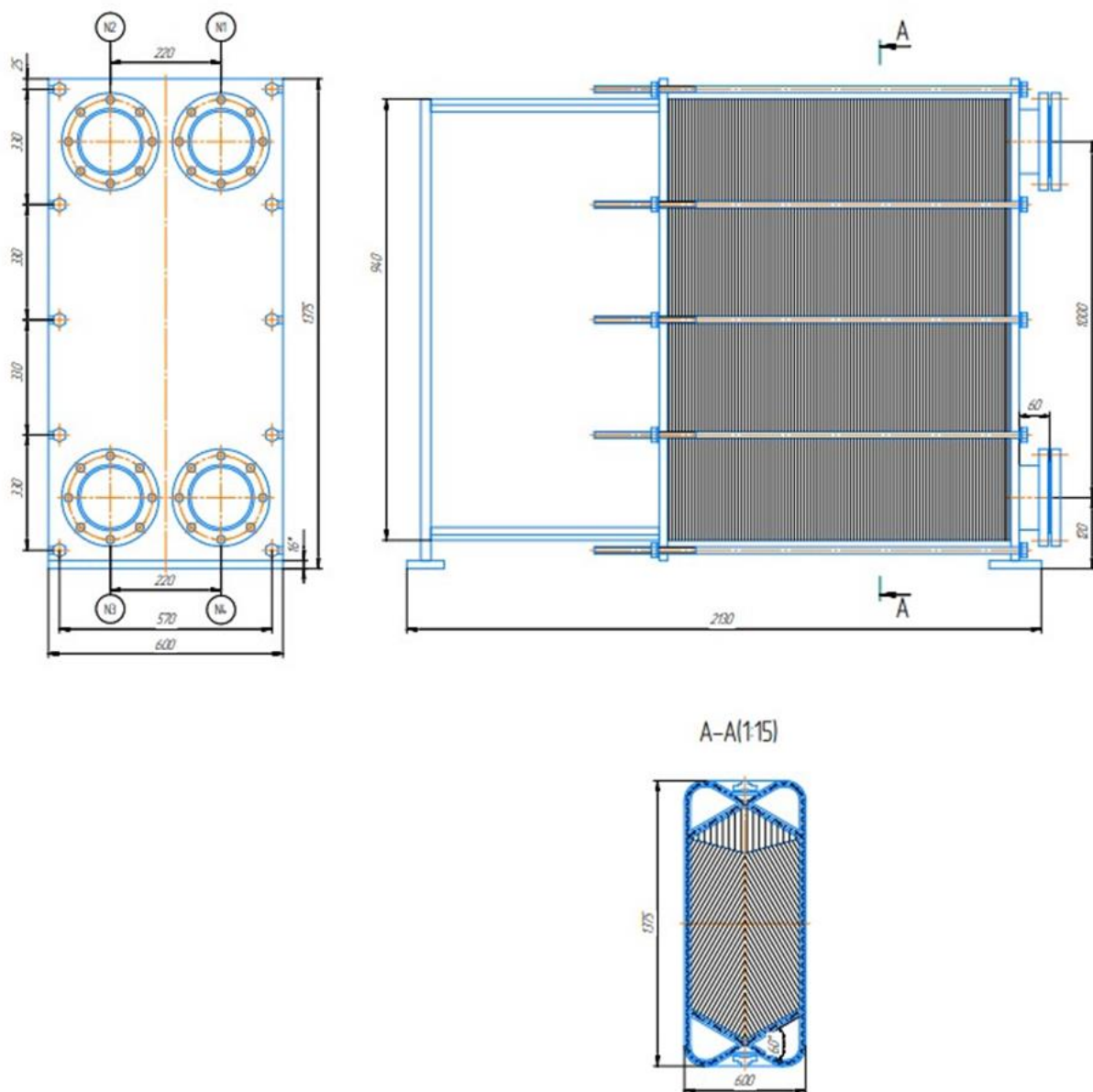


Рисунок 2 – Общий вид пластинчатого разборного теплообменника

Технические характеристики пластинчатого теплообменника:

- поверхность теплообмена –  $140 \text{ м}^2$ ;
- количество ходов – 3;
- поверхность пластины –  $0,6 \text{ м}^2$ ;
- количество пластин – 228.

Бак поз 2 выполнен в виде вертикальной емкости с обогревающим змеевиком внутри и предназначен для хранения запаса деминерализованной воды и парового конденсата.

Технические характеристики бака:

- диаметр – 10430 мм;
- высота – 18000 мм;
- объем – 1200 м<sup>3</sup>.

Бак поз. 4 представляет собой заглубленная емкость и предназначен для сбора конденсата.

Технические характеристики бака:

- длина – 5000 мм;
- ширина – 5000 мм;
- высота – 5000 мм;
- объем – 100 м<sup>3</sup>.

Угольные фильтры поз. 6/1–4 напорные, вертикальные, противоточные и предназначены для очистки конденсата от масел, а также для защиты последующих этапов системы очистки в цепочке. Они представляют собой цилиндрические аппараты с приваренными сферическими днищами.

Угольные фильтры загружены активированным углем. Фильтрация проводится сверху вниз. Пропускная способность четырех угольных фильтров составляет 300 м<sup>3</sup>/час. Работа фильтров осуществляется в непрерывном режиме и полностью автоматизирована.

В верхней части и нижней части фильтра установлено дренажно-распределительное устройство, предназначенное для равномерного распределения фильтруемого конденсата и отвода из фильтра воды.

Технические характеристики угольного фильтра:

- диаметр – 3000 мм;
- высота слоя активированного угля AQUASORB-HS – 1400 мм;
- высота цилиндрической части – 2500 мм;
- объем – 29,6 м<sup>3</sup>.

Катионитные фильтры поз. 7/1,2 напорные, вертикальные, противоточные и предназначены для обмена катионов, содержащихся в воде,

на эквивалентное количество катионов водорода. Общий вид катионитного фильтра представлен на рисунке 3.

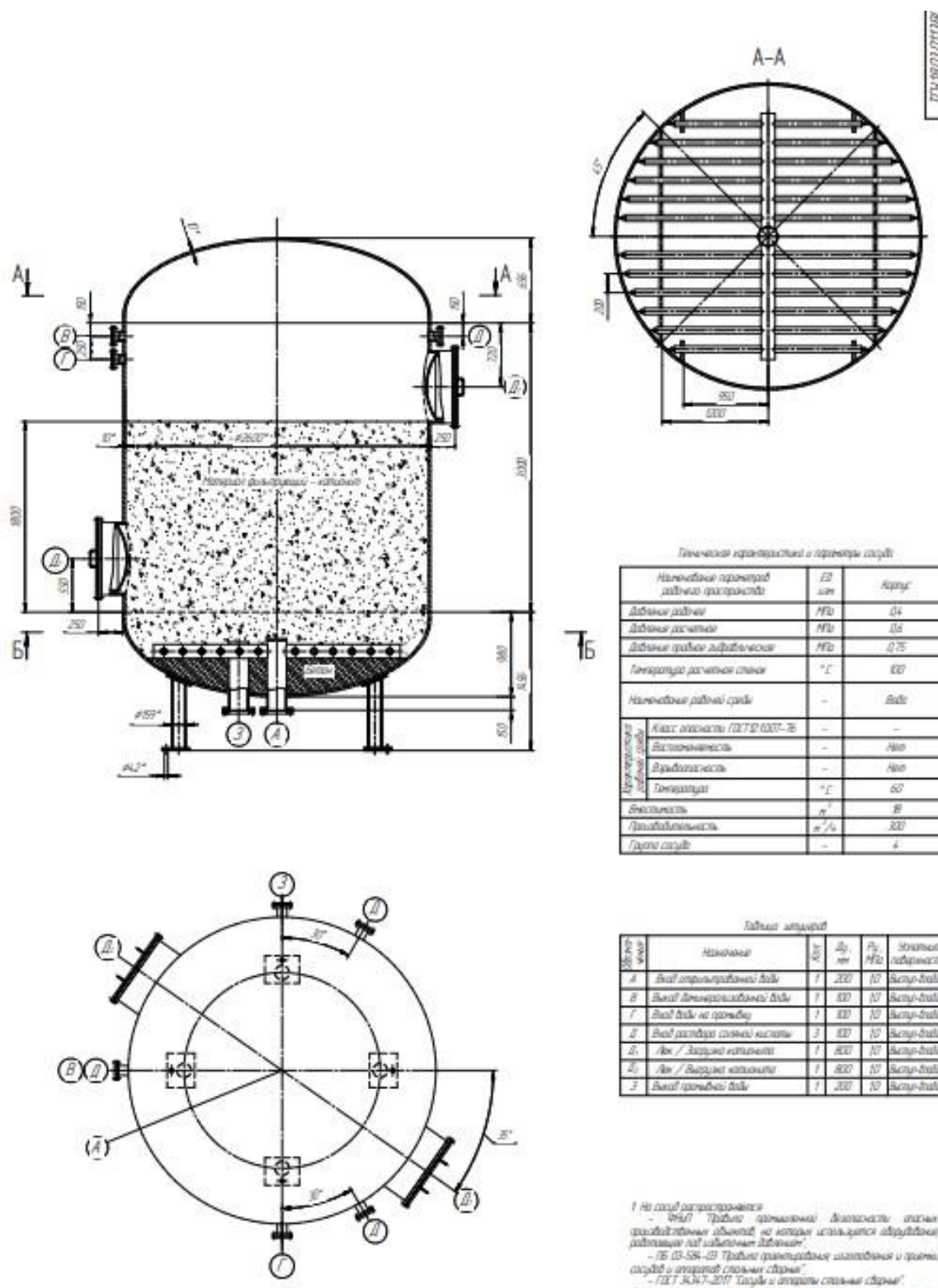


Рисунок 3 – Общий вид катионитного фильтра

Фильтры представляют собой цилиндрические аппараты со сферическим дном и загружены ионообменной смолой марки Supergel SGC650H. Фильтрация проводится снизу вверх. Максимальная производительность одного катионитного фильтра – 300 м<sup>3</sup>/ч.

В нижней и верхней части фильтра установлено дренажное устройство для равномерного распределения по площади конденсата и равномерного распределения воды при взрыхлении фильтрующего слоя ионита.

Для монтажа нижней и верхней дренажно-распределительной системы, загрузки и выгрузки фильтрующего материала в стенках фильтра имеется два люка диаметром 800 мм. Нижняя сфера фильтра, так называемое «мертвое» пространство, заполняется инертными веществами [8].

Технические характеристики катионитного фильтра:

- диаметр – 2600 мм;
- высота слоя ионообменной смолы марки Supergel SGC650H – 1800 мм;
- высота цилиндрической части – 3000 мм;
- объем – 29,6 м<sup>3</sup>.

Бак поз 8 выполнен в виде вертикальной емкости и предназначен для хранения смешанной воды [18].

Технические характеристики бака:

- диаметр – 10430 мм;
- высота – 12000 мм;
- объем – 800 м<sup>3</sup>.

Технические характеристики основного и вспомогательного оборудования приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Характеристика основного и вспомогательного оборудования

Номер позиции по схеме	Наименование оборудования	Количество	Технические характеристики
1	Пластинчатый теплообменник	1	Разборный пластинчатый теплообменник с тремя пакетами (ходами). Поверхность теплообмена - 140 м <sup>2</sup> . Поверхность пластины - 0,6 м <sup>2</sup> . Количество пластин - 228 шт. Габариты пластин: длина 1375 мм; ширина 600 мм; толщина 1 мм. Среда: конденсат и деминерализованная вода. Давление расчетное – 0,6 МПа. Температура расчетная – 100 °С.
2	Бак	1	Вертикальная цилиндрическая емкость с обогревающим змеевиком внутри. Диаметр - 10430 мм. Высота цилиндрической части - 18000 мм Объем резервуара - 1200 м <sup>3</sup> . Внутреннее избыточное давление - атмосферное.
4	Бак	1	Заглубленная емкость. Длина – 5000 мм; Ширина – 5000 мм; Высота – 5000 мм; Объем – 100 м <sup>3</sup> . Внутреннее избыточное давление - атмосферное.
6	Угольные фильтры	1	Вертикальная цилиндрическая емкость, загруженная активированным углем AQUASORB-HS. Диаметр - 3000 мм. Объем - 29,6 м <sup>3</sup> . Высота цилиндрической части: 2500 мм. Высота слоя активированного угля – 1400 мм. Давление: расчетное – 0,6 МПа; рабочее – 0,4 МПа. Температура рабочая -20...+80 С.
7	Катионитные фильтры	1	Вертикальная цилиндрическая емкость, загруженная ионообменной смолы марки Supergel SGC650H. Диаметр - 3000 мм. Объем - 29,6 м <sup>3</sup> . Высота цилиндрической части: 2500 мм. Давление: расчетное – 0,6 МПа; рабочее – 0,4 МПа Температура рабочая -20...+80 С.
8	Бак		Вертикальная цилиндрическая емкость. Диаметр - 10430 мм. Высота цилиндрической части - 12000 мм Объем резервуара - 800 м <sup>3</sup> . Внутреннее избыточное давление – атмосферное.

Вывод: разработанная технологическая схема очистки и деминерализации конденсата на угольных и катионитных фильтрах позволит увеличить производительность установки химводоподготовки по конденсату со 180 м<sup>3</sup>/ч до 300 м<sup>3</sup>/ч.

В результате использования угольных фильтров, загруженных гранулированным активированным углем АкваСорб HS, обеспечивается очистка конденсата от жиров и масел до показателей в соответствии с нормами при применении в технологической схеме минимального количества фильтров.

Катионит ионообменная смола марки Supergel SGC650 обеспечивает высокую химическую стабильность, хорошие кинетические характеристики и большую рабочую емкость.

Поэтому применение противоточной технологии "зажатых слоев" Пьюропак и катионита ионообменной смолы марки Supergel SGC650H в катионитных фильтрах позволяет очистить конденсат от аммиака, катионов натрия, кальция, магния и получить качество воды, соответствующее требованиям для дальнейшего глубокого обессоливания.

Использование пластинчатого теплообменника обеспечит снижение затрат на эксплуатацию и обслуживание теплообменника и уменьшение площади, занимаемой теплообменным оборудованием.

## Заключение

При анализе технологической схемы и оборудования установки химводоподготовки в производстве карбамида на ПАО «Тольяттиазот» была выявлена необходимость дополнительной очистки конденсата от жиров и масел, а также аммиака и других катионитов в связи с вводом в эксплуатацию третьего агрегата карбамида.

В результате патентного и информационного поиска были определены технические решения, позволяющие:

– применение для очистки от жиров и масел угольных фильтров с гранулированным активированным углем АкваСорб HS, обладающим максимальной активностью;

– использование для очистки от аммиака и катионов натрия, кальция, магния противоточной технологии "зажатых слоев" Пьюропак и катионита ионообменной смолы марки Supergel SGC650H, что позволяет получить качество воды, необходимое для дальнейшего глубокого обессоливания, при минимальном количестве катионитных фильтров.

Была разработана технологическая схема очистки и деминерализации конденсата, обеспечивающая требования по нормам, предъявляемым к качеству производственных конденсатов и деминерализованной воды, направляемых для дальнейшего глубокого обессоливания.

Выполненные технологические расчеты угольных и катионитных фильтров с определением их необходимого количества, а также расчет пластинчатого холодильника позволили подобрать конструкции угольного фильтра, катионитного фильтра и пластинчатого теплообменника для охлаждения конденсата.

Из полученных данных можно сделать вывод, что модернизация установки химводоподготовки позволит увеличить мощность установки по конденсату со 180 до 300 м<sup>3</sup>/ч, поэтому считаю, что поставленная цель и задачи достигнуты.



## Список используемой литературы и используемых источников

1. ГОСТ ISO 15547–1–2016 Промышленность нефтяная, нефтехимическая и газовая. Теплообменники пластинчатого типа. Часть 1. Пластинчатые и рамочные теплообменники. [Электронный ресурс] – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/72440/> (дата обращения: 11.09.2023).
2. ГОСТ Р ISO 15547–1–2009 Нефтяная и газовая промышленность. Пластинчатые теплообменники. Технические требования. [Электронный ресурс] – URL: [ostest.info/gost/001.075.180.020/gost-r-iso-15547-1-2009](http://ostest.info/gost/001.075.180.020/gost-r-iso-15547-1-2009) (дата обращения: 11.09.2023).
3. ГОСТ 857–95 Кислота соляная синтетическая техническая. Технические условия [Электронный ресурс]: Введ. с 01.01.1997.– URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/4184/> (дата обращения: 11.09.2023).
4. ГОСТ Р 55064–2012 Натр едкий технический. Технические условия [Электронный ресурс]: Введ. с 01.10.2013. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/78832/> (дата обращения: 11.09.2023).
5. ГОСТ 20298–2022 Смолы ионообменные. Катиониты. Технические условия [Электронный ресурс]: Взамен ГОСТ 20298-74; Введ. с 01.03.2023. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/78832/> (дата обращения: 11.09.2023).
6. ГОСТ 20301–2022 Смолы ионообменные. Аниониты. Технические условия [Электронный ресурс]: Взамен ГОСТ 20301–74; Введ. с 01.03.2023. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/78850/> (дата обращения: 11.09.2023).
7. ГОСТ Р 55682.12-2013 Котлы водотрубные и котельно-вспомогательное оборудование. Часть 12. Требования к качеству питательной и котельной воды [Электронный ресурс]: Введ. с 01.01.2015. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/55871/> (дата обращения: 15.09.2023).
8. ИТС 2-2022 Производство аммиака, минеральных удобрений и неорганических кислот [Электронный ресурс] – М.: Бюро НДТ. 2022. 838 с. – URL: <https://base.garant.ru/406092235/> (дата обращения: 11.09.2023).
9. Ксенофонов, Б. С. Водоподготовка и водоотведение : учебное пособие / Б. С. Ксенофонов. – Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2022. – 298 с.

– (Высшее образование). – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1865947> (дата обращения: 18.09.23).

10. Методические указания по проектированию инженерных систем подготовки воды. Федеральное автономное учреждение «Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве». Москва 2020. – с. 64.

11. Поникаров И.И. Машины и аппараты химических производств и нефтепереработки : учебник / И.И. Поникаров, М. Г. Гайнуллин– Санкт-Петербург: Лань, 2020. 604 с.

12. Поникаров И.И., Поникаров С.И., Рачковский С.В. Расчеты машин и аппаратов химических производств и нефтепереработки (примеры и задачи): учебное пособие – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 716 с.

13. Постоянный технологический регламент № УХВП-2Р. Установка химводоподготовки производства карбамида поставки фирмы «Снампрожетти» ПАО «ТольяттиАзот». – 2018. с. 86.

14. РД 34.37.515–93 Методические указания по очистке и контролю возвратного конденсата [Электронный ресурс]: – URL: [https://gostrf.com/norma\\_data/38/38756/index.htm](https://gostrf.com/norma_data/38/38756/index.htm) (дата обращения: 15.09.2023).

15. Романков П.Г. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи) [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / П.Г. Романков, В.Ф. Фролов, О.М. Флисюк. Электрон. текстовые данные. — СПб. : ХИМИЗДАТ, 2017. 544 с.

16. Рябчиков, Б. Е. Ионный обмен в водоподготовке : производственно-практическое пособие / Б. Е. Рябчиков, А. А. Пантелеев, С. Ю. Ларионов. – Москва : ДеЛи плюс, 2018. 398 с. – ISBN 978-5-9909883-9-2. – Текст : электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1838786> (дата обращения: 21.09.2023).

17. Система химводоподготовки. [Электронный ресурс]: Патент RU2577676. Патентообладатель – ДПО "Саранский Дом науки и техники.

Публикация: 2016.03.20. – URL:  
[https://yandex.ru/patents/doc/RU2577676C1\\_20160320](https://yandex.ru/patents/doc/RU2577676C1_20160320) (дата обращения:  
14.09.2023).

18. Смирнов Н.Н. Барабаш В.М., Карпов К.А. Альбом типовой химической аппаратуры (принципиальные схемы аппаратов): Учебное пособие / Под общ. ред. Н.А. Смирнова – СПб : Лань, 2022 – 84с.

19. Способ и устройство для доочистки воды при ее глубокой деминерализации. [Электронный ресурс]: Патент №2447026. Патентообладатель – Балаев И. С. Публикация: 2012.04.10. – URL:  
[https://yandex.ru/patents/doc/RU2447026C2\\_20120410](https://yandex.ru/patents/doc/RU2447026C2_20120410) (дата обращения:  
12.09.2023).

20. Способ обессоливания воды. [Электронный ресурс]: Патент RU2361819. Патентообладатель – Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет". Публикация: 2009.07.20. – URL: <https://patents.google.com/patent/RU2361819C1/ru> (дата обращения: 14.09.2023).

21.Справочник перспективных технологий водоподготовки и очистки воды с использованием технологий, разработанных организациями оборонно-промышленного комплекса и учетом оценки риска здоровью населения [Электронный ресурс]: – URL: <Spravochnik-perspektivnykh-tekhnologiy-24.07.2019.docx> (дата обращения: 20.05.2023).

22. СТО 70238424.27.100.013-2009 Водоподготовительные установки и водно-химический режим ТЭС. Условия создания. Нормы и требования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200083776> (дата обращения: 10.09.2023).

23. Токарева А.Н. Расчет систем водоподготовки котельных установок на базе натрий–катионовых фильтров [Электронный ресурс]: методические указания / А.Н. Токарева, С.В. Панченко, М.С. Демченко. – зерноград: АзовоЧерноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2021. – 20 с.

24. Химия водной среды в теплоэнергетике: [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Сост.: А.А. Филимонова, А.А. Чичиров, Н.Д. Чичирова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2020. 121 с. – URL: [https://lib.kgeu.ru/irbis64r\\_15/scan-new/275эл.pdf](https://lib.kgeu.ru/irbis64r_15/scan-new/275эл.pdf) (дата обращения: 22.09.2023).

25. Устройство для очистки конденсата от нефтепродуктов. [Электронный ресурс]: Патент RU2470876. Патентообладатель - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Юго-Западный государственный университет". Публикация: 2012.12.27. – URL: [https://yandex.ru/patents/doc/RU2470876C1\\_20121227](https://yandex.ru/patents/doc/RU2470876C1_20121227) (дата обращения: 14.09.2023).

26. Ksenofontov BS Flotation treatment of surface waste water and soil at power plants // Tr. 2nd International Scientific and Practical Conference "Ecology 52 in Power Engineering - 2005". 19-21 October 2005 M. : MEI Publishing, 2005, pp 143-146.

27. Yakovlev SV, Voronov Yu Sewage and waste water treatment. M. : IASV 2002.

28. Komarova, LF Use of water for plants and wastewater treatment in various industries: tutorial / L. F.Komarova, MA Poletaeva. - Barnaul: Altai State Technical University Publishing House, 2010.

29. Wilson EV Detoxification activated sludge peroxide vodoroda.pp 45

30. Bespamyatnov GP, Krotov Yu.A. Maximum allowable concentrations of chemicals in the environment. Directory. - L. : Chemistry 1985