

## Содержание

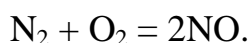
Введение.....	8
1 Обзор и анализ состояния вопроса.....	10
1.1 Обзор существующих методов производства.....	10
1.2 Аппаратурное оформление процесса.....	15
2 Технологический раздел.....	20
2.1 Описание технологической схемы и проектируемого оборудования.....	20
2.2 Технологический расчет.....	24
3 Расчетно-конструкторский раздел.....	41
3.1 Разработка и описание конструкции проектируемого оборудования.....	41
3.2 Расчет элементов оборудования на прочность.....	43
4 Специальный раздел.....	54
4.1 Разработка технологического процесса изготовления базовой детали.....	55
4.2 Разработка маршрутной, технологической и операционной карт.....	66
4.3 Разработка технологической схемы сборки.....	67
4.4 Технические условия на эксплуатацию и ремонт.....	68
5 Автоматизация оборудования.....	71
5.1 Выбор и обоснование параметров контроля и управления.....	71
5.2 Описание выбранной системы сбора сигналов и управления.....	72
5.3 Выбор и обоснование технических средств и систем автоматизации.....	75
6 Безопасность и экологичность проекта.....	82
6.1 Анализ опасных и вредных факторов производства.....	83
6.2 Мероприятия по предотвращению воздействия опасных и вредных факторов...	87
6.3 Защита персонала и территории в чрезвычайных ситуациях.....	89

					vector-study.ru									
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Теплоутилизационный теплообменник. Пояснительная записка						Лит.	Лист	Листов	
Разраб.														
Проверил														
Н.контр.														
Утв.														

## Введение

Газообразный азот представляет собой одно из самых устойчивых химических веществ. Энергия связи в молекуле азота составляет 945 кДж/моль; он обладает одной из самых высоких энтропии в расчете на атом, в результате чего элементный азот неактивен. В атмосфере азот находится в свободном состоянии в огромных количествах. Подсчитано, что над 1 га поверхности Земли имеется около 80 тыс. т азота. Элементный азот в клубеньках некоторых растений вступает в реакции с образованием аминокислот и белков. Эти реакции катализируют ферменты, а необходимую энергию обеспечивает фотосинтез.

Некоторое количество азота переходит в биологически усваиваемую форму в результате грозных разрядов по реакции [1]



Большинство организмов легче усваивают соединения азота со степенью окисления -3. Это  $\alpha$ -аминокислоты  $\text{RCHNH}_2\text{COOH}$  и их полимеры – белки, которые играют важнейшую роль в биохимии. Однако скорость перевода в состояние окисления -3 в естественных процессах слишком мала для поддержания требуемого количества связанного азота при современных темпах его потребления.

В среднем половина необходимого для жизни азота возвращается через атмосферу за 108 лет; для кислорода этот период составляет 3000 лет, для углерода – 100 лет. Эти цифры убедительно показывают необходимость синтеза азотсодержащих соединений для использования их живыми организмами.

Потребителями азотных соединений издавна являлись фармация, военное дело, промышленность, а с начала XIX в. и сельское хозяйство.

Решением проблемы связанного азота явилась реакция синтеза аммиака, промышленное осуществление которой позволило создать мощную сырьевую базу для получения самых разнообразных азотсодержащих соединений.

Сырьем для получения продуктов в азотной промышленности являются атмосферный воздух и различные виды топлива. Одной из составных частей воздуха является азот, который используется в процессах получения аммиака, цианида кальция и других продуктов азотной технологии. В некоторых схемах син-

					vector-study.ru	Лист
Изм.	Лист	N докцм.	Подп.	Дата		8

# 1 Обзор и анализ состояния вопроса

## 1.1 Обзор существующих методов производства

Выделяют три группы процессов синтеза аммиака: при низком давлении 10–16 МПа, при высоком давлении 80–100 МПа и при среднем давлении 20–50 МПа. Кроме давления системы различаются способом выделения аммиака из цикла, температурой синтеза, применяемым оборудованием и др.

Установки высокого давления позволяли получать высокую степень превращения азотоводородной смеси в аммиак. На практике при температуре 500–600 °С и объемной скорости газа 100000 ч<sup>-1</sup> концентрация аммиака на выходе из колонны достигала 25% (об.), что соответствует превращению в аммиак 40% азотоводородной смеси.

Установки среднего давления получили наибольшее распространение во всем мире. По этой схеме синтез проводили под давлением 25 МПа, выделение аммиака - методом конденсации с использованием аммиачного охлаждения. Для наиболее полного выделения аммиака было применено абсорбционное допоглощение остаточного аммиака. Схема предусматривала колонну предкатализа для дополнительной очистки свежего газа. Продукционный аммиак получали в жидком и газообразном виде.

Установки низкого давления. Ранее использовались схемы, характерной особенностью которых являлись низкая температура процесса синтеза аммиака: 400 °С вместо обычных 450–500 °С в схемах среднего давления. При 400 °С, объемной скорости газа 3000 ч<sup>-1</sup> и давлении 9 МПа на выходе из аппарата благодаря применению активного катализатора, состоящего из комплексной соли, содержащей цианид железа, получали 8–13% (об.) аммиака. Недостатком процесса являлась низкая стабильность, малая механическая прочность и высокая стоимость катализатора, необходимость усложненной очистки газа, поступающего в систему, сложность выделения аммиака. С развитием технологии в данном направлении были разработаны схемы производства аммиака под давлением 9 МПа с использованием рутениевого катализатора на углеродном носителе. Концентрация на вы-

Основным сырьем производства аммиака и азотных удобрений на его основе в нашей стране является природный газ.

Огромные масштабы производства аммиака в нашей стране определяют необходимость выбора наиболее рациональной технологической схемы производства, обладающей самым высоким КПД – возможно полным использованием всех сырьевых и энергетических компонентов процесса.

Агрегат производства аммиака с использованием двухступенчатой паровоздушной конверсии природного газа мощностью 1360 т/сут отвечает всем требованиям развития мировой техники. Для наиболее эффективного использования циркулирующей азотоводородной смеси необходимо возможно полнее выделять из нее аммиак перед тем, как вновь направлять в колонну синтеза.

Для удаления аммиака в промышленности обычно используют два метода: вымывание аммиака из газа водой и конденсацию аммиака, содержащегося в газе, путем его охлаждения.

Все современные схемы получения синтетического аммиака предусматривают выделение аммиака из цикла методом конденсации. Конденсацию аммиака в схемах, где применяют давление не ниже 45–50 МПа, нередко осуществляют только водяным охлаждением газа – это схемы с одноступенчатой конденсацией. При давлениях 10–30 МПа обычно наряду с воздушным или водяным охлаждением для конденсации аммиака применяют аммиачное охлаждение. Такие схемы называют схемами с двухступенчатой конденсацией (см. рисунок 1.1), их производительность составляет 1700 т/сут [1].

Синтез-газ с соотношением водорода к азоту равным 3:1, сжатый компрессором К1 в количестве 198000 м<sup>3</sup>/ч (P = 0,1013 МПа, T = 273 К) под давлением 28,9 МПа, с содержанием инертных газов (CH<sub>4</sub>, Ar) 1,26% подается на воздушный холодильник АВО1, где охлаждается до температуры 71 °С и направляется в сепаратор-смеситель СС1.

Циркуляционный газ поступает на всасывание циркуляционной ступени компрессора газ из системы синтеза в количестве до 638000 м<sup>3</sup>/ч с температурой – 4°С и давлением до 27,28 МПа.

					vector-study.ru	Лист
Изм.	Лист	N докцм.	Подп.	Дата		12

поднимается вверх и входит в трубное пространство теплообменника ТОЗ, ТОЗА, где отдает свое тепло газу, входящему в колонну синтеза. С температурой 333 °С газ выходит из колонны синтеза и поступает в трубное пространство подогревателя питательной воды ТО4 и ТО4А, где охлаждается до температуры 167–170 °С и затем поступает в межтрубное пространство «горячего» теплообменника ТО2 и ТО2А, где оба потока охлаждается до 40°С и затем смешиваются.

Далее газ охлаждается в воздушном холодильнике АВО2 до температуры 31°С и поступает в межтрубное пространство «холодного» теплообменника ТО1, где температура снижается до 21°С. После дальнейшего охлаждения газа до –4°С в аммиачных холодильниках АХ1, АХ1А, аммиак, содержащийся в газе, конденсируется. Затем поступает в сепаратор С1, в котором жидкий аммиак отделяется от газа. Газ, содержащий 3,2% аммиака, направляется после сепаратора в циркуляционную ступень компрессора синтеза, и, таким образом цикл циркуляции в системе синтеза замыкается.

Жидкий аммиак из сепараторов С1, С2 с помощью регуляторов подается в первичный сборник жидкого аммиака СА1, откуда поступает в сборник С3 давление в котором 1,58 МПа. Выделившиеся в результате снижения давления аммиака, в сборнике СА1, танковые газы поступают в холодильник АХ4, где газ охлаждается до температуры – 23 °С и поступает в сепаратор Сб, где освобождается от жидкого аммиака, который самотеком сливается в сборник аммиака СА1, а газы направляются на технологию или в систему топливного газа.

Большая часть жидкого аммиака из сборника С3 подается последовательно в расширительный сосуд РС1, где подвергаются резкому снижению давлению соответственно до 0,6 МПа и температура 13°С. Остальная часть аммиака выдается во второй расширительный сосуд аммиака РС1А и вторичный аммиачный холодильник танковых газов АХ5.

Ввиду того, что в системе синтеза накапливаются инертные газы (СН<sub>4</sub> Ar), часть газа отводится из системы с таким расчетом, чтобы на входе в колонну синтеза суммарное содержание инертных газов не превышало 13,6%. Продувочный газ отводится из системы синтеза после сепаратора С1, проходит аммиачный холодильник

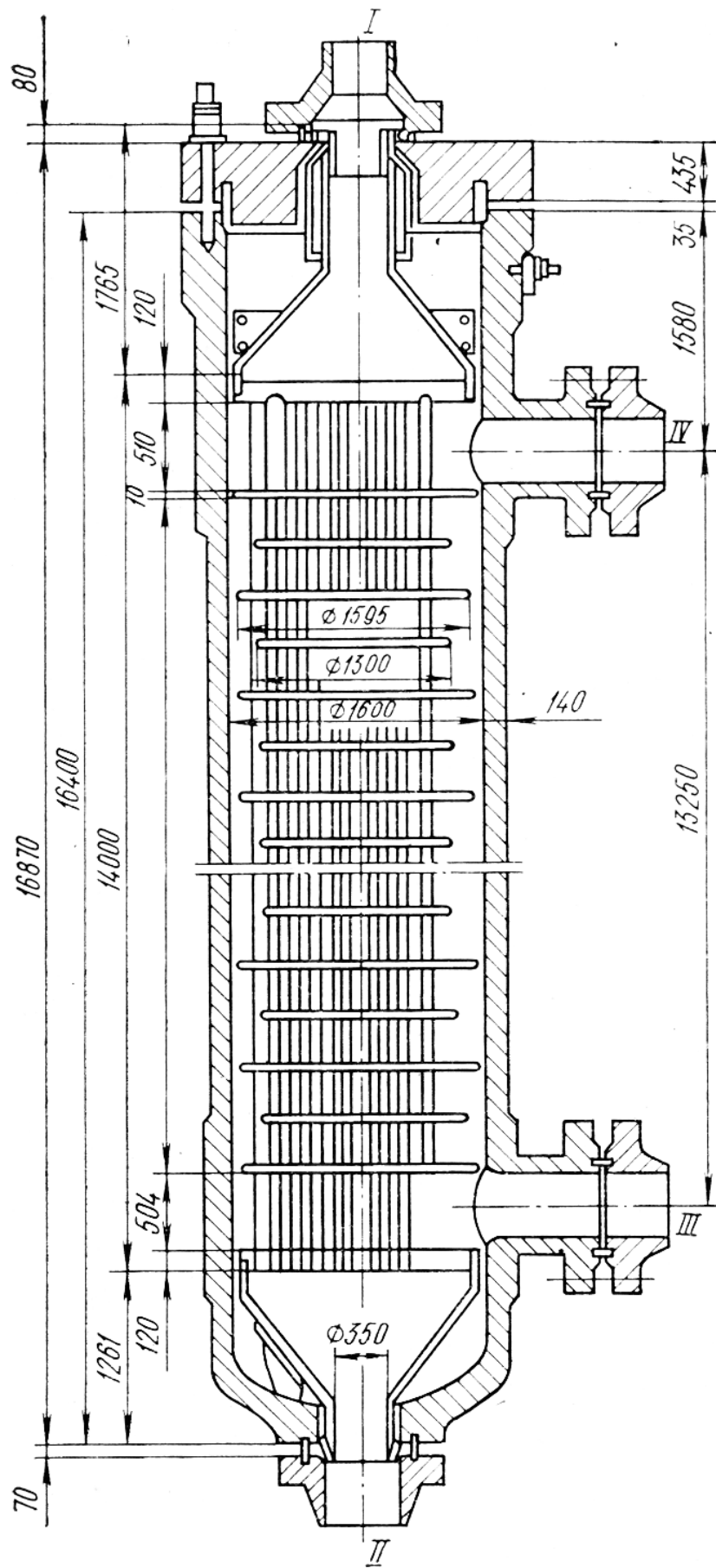


Рисунок 1.2 – Выносной газовый теплообменник

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

### 1.2.3 Подогреватель питательной воды

Одна из конструкций утилизационного теплообменника приведена на рисунке 1.4. Аппарат предназначен для подогрева питательной воды, поступающей в котел-утилизатор, от 102 до 300° С за счет теплоты горячих газов, выходящих из колонны синтеза аммиака. Вследствие отдачи теплоты конвертированный газ охлаждается с 330°С до 210 – 215°С

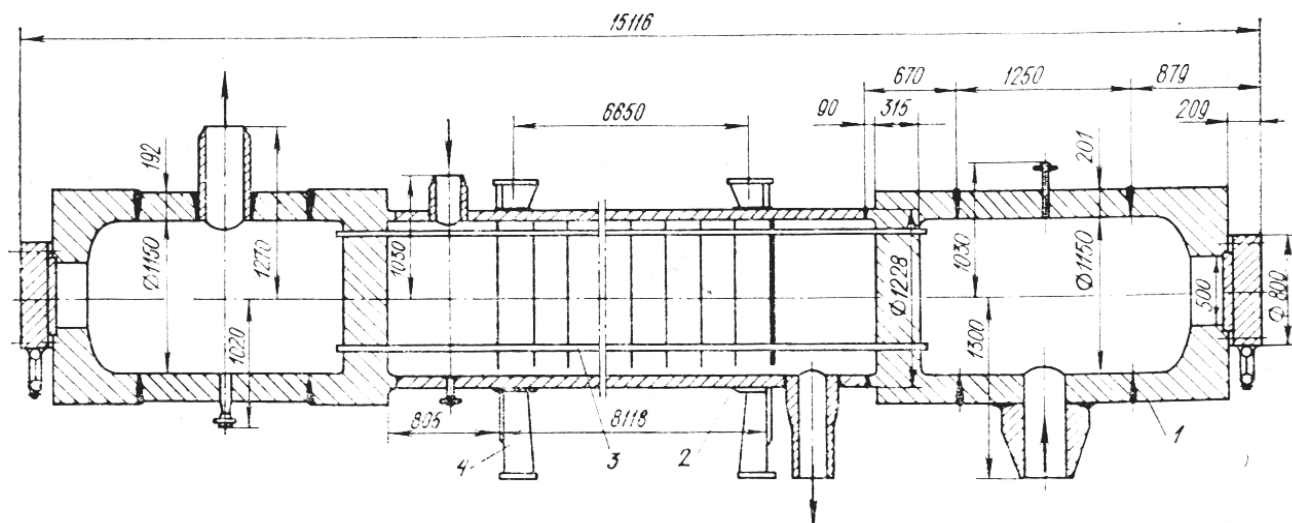


Рисунок 1.4 – Подогреватель питательной воды:

I — вход газовой смеси, II — выход газовой смеси, III — вход газа, IV — выход газа

Горизонтальный аппарат состоит из распределительной камеры 1, корпуса 2 и трубного пучка 3 из труб диаметром 10×2 мм. Устанавливается аппарат на опорах 4. Трубные решетки жестко связаны с корпусом, а прямые участки теплообменных труб имеют компенсаторы температурных изменений длины корпуса и труб. В центре, по оси аппарата устанавливается сердечник из труб, крепящийся к одной из трубных решеток.

Горячий газ после колонны синтеза входит в аппарат через нижний штуцер и равномерно распределяется по трубам теплообменника. Противотоком к газу сверху вниз поступает питательная вода, которая нагревается в межтрубном пространстве до 300 ° С и выводится через нижний боковой штуцер.

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
------	------	--------	-------	------

## 2 Технологический раздел

### 2.1 Описание технологической схемы и проектируемого оборудования

Проектируемый утилизационный теплообменник входит в состав технологической схемы производства аммиака. На основании приведенного анализа состояния вопроса выбираем технологическую схему синтеза аммиака мощностью 1360 т/сут на отечественном оборудовании [1].

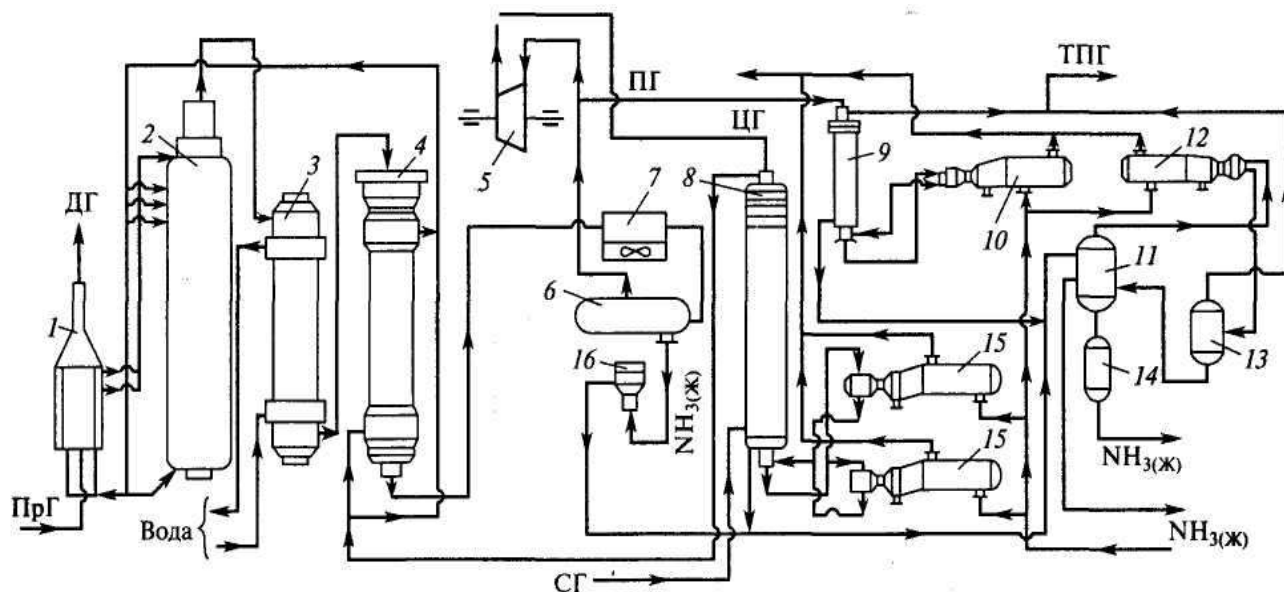


Рисунок 2.1 – Схема производства аммиака мощностью 1360 т/сут:

1 – подогреватель газа, 2 – колонна синтеза аммиака, 3 – утилизационный теплообменник, 4 – выносной теплообменник; 5 – циркуляционное колесо компрессора; 6 – сепаратор жидкого аммиака; 7 – блок аппаратов воздушного охлаждения; 8 – конденсационная колонна; 9 – конденсационная колонна продувочных газов; 10 – испаритель жидкого аммиака на линии продувочных газов, 11 – сборник жидкого аммиака, 12 – испаритель жидкого аммиака на линии танковых газов; 13 – сепаратор; 14 – промежуточная дренажная емкость; 15 – испарители жидкого аммиака; 16 – магнитный фильтр

Свежая азотоводородная смесь после очистки метанированием сжимается в центробежном компрессоре до давления 32 МПа и после охлаждения в воздушном холодильнике (на схеме не показан) поступает в нижнюю часть конденсационной колонны 8 для очистки от остаточных примесей CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O и следов масла.

Изм.	Лист	№ док.м.	Подп.	Дата



азотоводородной смеси с циркуляционным газом. Далее газовая смесь проходит корзину с фарфоровыми кольцами Рашига, где отделяется от капель жидкого аммиака, поднимается по трубкам теплообменника и направляется в выносной теплообменник 4, а затем в колонну синтеза 2.

Жидкий аммиак из первичного сепаратора проходит магнитный фильтр 16, где из него выделяется катализаторная пыль, и смешивается с жидким аммиаком из конденсационной колонны 8. Затем его дросселируют до давления 4 МПа и отводят в сборник жидкого аммиака 11.

В результате дросселирования жидкого аммиака до 4 МПа происходит выделение растворенных в нем газов  $H_2$ ,  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CH_4$ . Эти газы, называемые танковыми, содержат 16–18%  $NH_3$ . Поэтому танковые газы направляют в испаритель 12 с целью утилизации аммиака путем его конденсации при  $-25\text{ }^\circ\text{C}$ . Из испарителя танковые газы и сконденсировавшийся аммиак поступают в сепаратор 13 для отделения жидкого аммиака, направляемого в сборник жидкого аммиака 11.

Для поддержания в циркуляционном газе постоянного содержания инертных газов, не превышающего 10%, производится продувка газа после первичной конденсации аммиака (после сепаратора 6).

Продувочные газы содержат 8–9%  $NH_3$ , который выделяется при температуре  $25\text{--}30\text{ }^\circ\text{C}$  в конденсационной колонне 9 и испарителе 10 продувочных газов. Смесь танковых и продувочных газов после выделения аммиака используют как топливный газ.

Проектируемый утилизационный теплообменник предназначен для подогрева питательной воды от 102 до  $280\text{--}290\text{ }^\circ\text{C}$  за счет тепла реакции синтеза аммиака. Конвертированный газ охлаждается в подогревателе воды от  $320\text{--}340\text{ }^\circ\text{C}$  до  $200\text{--}215\text{ }^\circ\text{C}$ . Средняя тепловая нагрузка на аппарат составляет  $14 \cdot 10^7$  кДж/ч (3900 кВт).

В подогревателе воды трубные доски жестко связаны с корпусом, а прямые теплообменные трубки имеют участок, позволяющий компенсировать разность температурных удлинений корпуса и трубок. Гнутый участок составляет 8–15% от общей высоты теплообменника.

					vector-study.ru	Лист
Изм.	Лист	№ докцм.	Подп.	Дата		22

Аппарат вертикальный. Внутренний диаметр корпуса 1600 мм. Трубки имеют диаметр 22x3,5 мм, количество их составляет 1722 шт. Поверхность теплообмена согласно расчету 925 м<sup>2</sup> (по среднему диаметру труб). Охлаждаемый газ проходит по трубкам сверху вниз, нагреваемая вода – по межтрубному пространству противотоком газу.

Имеется тенденция увеличения производительности агрегата синтеза аммиака до 1700÷2000 т/сут.

## 2.2 Технологический расчет

### 2.2.1 Исходные данные для расчета

Исходные данные для расчета принимаем по аналогии с существующим промышленным оборудованием:

- давление газа  $P_r = 27,4$  МПа;
- расход газа при  $P = 0,1013$  МПа и  $T = 273,15$  К  $V_{r0} = 200$  м<sup>3</sup>/с;
- температура газа
  - на входе  $t_{r1} = 330$  °С,
  - на выходе  $t_{r2} = 210$  °С;
- температура воды
  - на входе  $t_{в1} = 102$  °С;
  - на выходе  $t_{в2} = 285$  °С;
- состав газа  $X_v$ 
  - $NH_3 = 14,20\%$ ;
  - $H_2 = 62,46\%$ ;
  - $N_2 = 20,82\%$
  - $Ar = 2,52\%$ .

В дальнейшем все объемные расходы и плотности газа приведены при давлении  $P = 0,1013$  МПа и температуре  $T = 273,15$  К. Расчетом определяются тепловая нагрузка, требуемый расход воды и размеры аппарата. Схема к расчету приведена на рисунке 2.3.

$$V_x := V_{r0} \cdot X_v; \quad (2.3)$$

$$V_{x\_NH3} = V_{r0} X_{V\_NH3} = 200 \cdot 0,1420 = 28,400 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$V_{x\_H2} = V_{r0} X_{V\_H2} = 200 \cdot 0,6246 = 124,920 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$V_{x\_N2} = V_{r0} X_{V\_N2} = 200 \cdot 0,2082 = 41,640 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$V_{x\_Ar} = V_{r0} X_{V\_Ar} = 200 \cdot 0,0252 = 5,040 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Массовый расход компонентов газа

$$G_x = V_x \rho_{r0}; \quad (2.4)$$

$$G_{x\_NH3} = V_{x\_NH3} \rho_{r0\_NH3} = 28,400 \cdot 0,759 = 21,554 \text{ кг/с};$$

$$G_{x\_H2} = V_{x\_H2} \rho_{r0\_H2} = 124,920 \cdot 0,089 = 11,154 \text{ кг/с};$$

$$G_{x\_N2} = V_{x\_N2} \rho_{r0\_N2} = 41,640 \cdot 1,250 = 52,050 \text{ кг/с};$$

$$G_{x\_Ar} = V_{x\_N2} \rho_{r0\_Ar} = 5,040 \cdot 1,786 = 9,000 \text{ кг/с}.$$

Массовый расход газа

$$G_r := \sum G_x = 21,554 + 11,154 + 52,050 + 9,000 = 93,757 \text{ кг/с}. \quad (2.5)$$

Массовый состав газа

$$X_{g\_NH3} = G_{x\_NH3} / G_x = 21,554 / 93,757 = 0,2299;$$

$$X_{g\_H2} = G_{x\_H2} / G_x = 11,154 / 93,757 = 0,1190;$$

$$X_{g\_N2} = G_{x\_N2} / G_x = 52,050 / 93,757 = 0,5552;$$

$$X_{g\_Ar} = G_{x\_Ar} / G_x = 9,000 / 93,757 = 0,0960.$$

Значения теплоемкости отдельных компонентов газа в зависимости от температуры получаем из справочных данных, приведенных в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Теплоемкости чистых компонентов при различной температуре

Температура, °С	Теплоемкость, кДж / (кг · К)			
	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Ar
t <sub>1</sub> = 200	2,392	14,497	1,052	0,716
t <sub>2</sub> = 300	2,577	14,539	1,068	0,729
t <sub>3</sub> = 400	2,740	15,581	1,094	0,742

Теплоемкость чистых компонентов при температурах t<sub>r1</sub> и t<sub>r2</sub> определяем интерполированием справочных данных:

$$c_{r1} = \Sigma(c_{x1i} X_{gi}) = \quad (2.14)$$

$$= 2,626 \cdot 0,2299 + 14,552 \cdot 0,1190 + 1,076 \cdot 0,5552 + 0,733 \cdot 0,0960 = 3,002 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}};$$

$$c_{r2} = \Sigma(c_{x2i} X_{gi}) = \quad (2.15)$$

$$= 2,411 \cdot 0,2299 + 14,502 \cdot 0,1190 + 1,053 \cdot 0,5552 + 0,718 \cdot 0,0960 = 2,933 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

Энтальпия газа на входе и на выходе

$$h_{r1} := c_{r1} \cdot t_{r1} = 3,002 \cdot 330 = 990,816 \text{ кДж/кг}; \quad (2.16)$$

$$h_{r2} := c_{r2} \cdot t_{r2} = 2,933 \cdot 210 = 615,944 \text{ кДж/кг}. \quad (2.17)$$

Тепловая нагрузка теплообменника

$$Q := G_r \cdot (h_{r1} - h_{r2}) = 93,757 \cdot (990,816 - 615,944) = 3,515 \cdot 10^4 \text{ кВт}. \quad (2.18)$$

### 2.2.3 Определение расхода воды

Средняя температура воды в межтрубном пространстве

$$t_B := \frac{t_{B1} + t_{B2}}{2} = \frac{102 + 285}{2} = 193,5 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (2.19)$$

Теплоемкость воды при этой температуре

$$c_B := 4,48 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

Принимаем потери тепла

$$\varepsilon := 5\%.$$

Расход воды

$$G_B := \frac{Q \cdot (1 - \varepsilon)}{c_B \cdot (t_{B2} - t_{B1})} = \frac{3,515 \cdot 10^4 \cdot (1 - 0,05)}{4,48 \cdot (285 - 102)} = 40,727 \text{ кг/с}. \quad (2.20)$$

### 2.2.4 Расчет объемных расходов

Мольная масса газа

$$M_r = \Sigma(M_i X_{gi}) = \quad (2.21)$$

$$= 17 \cdot 0,2299 + 2 \cdot 0,1190 + 25 \cdot 0,5552 + 40 \cdot 0,0960 = 23,530 \text{ кг/кмоль}.$$





$$\lambda_{\text{тр}} := \frac{0.25}{\log \left[ \frac{e}{3.7} + \left( \frac{6.81}{\text{Re}_{\text{тр}}} \right)^{0.9} \right]^2} = \frac{0.25}{\log \left( \frac{0.13}{3.7} + \left( \frac{6.81}{32612} \right)^{0.9} \right)^2} = 0,042. \quad (2.44)$$

Гидравлическое сопротивление трубного пространства

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{тр}} &:= \left( \frac{\lambda_{\text{тр}} \cdot L}{d_{\text{вн}}} + 1.5 + 2.5 + 1 \cdot 2 \right) \cdot \frac{\rho_{\text{в}} \cdot \omega_{\text{тр}}^2}{2} = \\ &= \left( \frac{0,042 \cdot 9,5}{0,015} + 1,5 + 2,5 + 1 \cdot 2 \right) \frac{142,8 \cdot 1,079^2}{2} = 2716 \text{ Па}. \end{aligned} \quad (2.45)$$

Скорость движения среды в межтрубном пространстве

$$\omega_{\text{мтр}} = \frac{G_{\text{в}}}{S_{\text{мтр}} \rho_{\text{в}}} = \frac{40,727}{1,285 \cdot 877} = 0,36 \text{ м/с}.$$

Число труб, огибаемых потоком воды

$$m := \sqrt{\frac{n-1}{3} + 0.25} = \sqrt{\frac{1722-1}{3} + 0,25} = 24.$$

Гидравлическое сопротивление межтрубного пространства с учетом местных сопротивлений

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{мтр}} &:= \left( 1.5 \cdot 2 + 1.5 \cdot 4 + \frac{3m}{\text{Re}_{\text{мтр}}^2} \right) \cdot \frac{\rho_{\text{г}} \cdot \omega_{\text{мтр}}^2}{2} = \\ &\left( 1,5 \cdot 2 + 1,5 \cdot 4 + \frac{3 \cdot 24}{4874^2} \right) \frac{877 \cdot 0,36^2}{2} = 544 \text{ Па}. \end{aligned} \quad (2.46)$$

## 2.2.7 Расчет диаметров штуцеров

Плотности газа на входе и на выходе

$$\rho_{\text{г1}} := \frac{M_{\text{г}} \cdot P_{\text{г}}}{R_{\text{ф}} (t_{\text{г1}} + T_0)} = \frac{23,530 \cdot 27,4 \cdot 10^6}{8,314 \cdot (330 + 273)} = 128,6 \text{ кг/м}^3; \quad (2.47)$$

$$\rho_{\text{г2}} := \frac{M_{\text{г}} \cdot (P_{\text{г}} - \Delta P_{\text{мтр}})}{R_{\text{ф}} (t_{\text{г2}} + T_0)} = \frac{23,530 \cdot (27,4 \cdot 10^6 - 2716)}{8,314 \cdot (210 + 273)} = 160,5 \text{ кг/м}^3. \quad (2.48)$$

Объемные расходы газа на входе и на выходе в рабочих условиях

$$V_{\text{г1}} := \frac{G_{\text{г}}}{\rho_{\text{г1}}} = 93,757 / 128,6 = 0,729 \text{ м}^3/\text{с}; \quad (2.49)$$

$$V'_{B2} := \frac{V_{B2}}{2} = 4,895 \cdot 10^{-2} / 2 = 2,448 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}; \quad (2.56)$$

$$D_{B1} := \sqrt{\frac{4V'_{B1}}{\pi \cdot \omega_{B1}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,126 \cdot 10^{-2}}{3,14 \cdot 2,0}} = 0,116 \text{ м}; \quad (2.57)$$

$$D_{B2} := \sqrt{\frac{4V'_{B2}}{\pi \cdot \omega_{B2}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,448 \cdot 10^{-2}}{3,14 \cdot 2,0}} = 0,124 \text{ м}; \quad (2.58)$$

Принимаем штуцера для толстостенных аппаратов по АТК 24.218.06-90 с условным внутренним диаметром 150 мм. Фактический конструктивный внутренний диаметр патрубков

$$D_{B1} = D_{B2} = 136 \text{ мм.}$$

### 2.2.8 Расчет вспомогательного оборудования

Вода используется в технологическом процессе, в том числе для образования водяного пара, поэтому перед подачей воды в утилизационный теплообменник требуется тщательная очистка воды от солей в специальной установке, состоящей из ионитовых фильтров. Процесс выполняется при давлении 0,3 МПа и температуре 25 °С [4].

Расход воды, определенный в технологическом расчете теплообменника

$$G_B = 40,727 \text{ кг/с.}$$

Объемный расход при 20 °С

$$V_B = G_B / \rho_B = 40,727 / 1000 = 4,073 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с} = 3519 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Исходная вода имеет следующие показатели:

- жесткость общая – 5,35 мг/л;
- жесткость карбонатная – 3,22 мг/л.

Содержание в мг/л:

- $\text{Ca}^{2+}$  – 86,  $\text{Mg}^{2+}$  – 13,  $\text{Na}^+$  – 21;
- $\text{Cl}^-$  – 62 ;
- $\text{SO}_4^{2-}$  – 192;
- $\text{HCO}_3^-$  – 19,5;

Изм.	Лист	N докцм.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------



$$V = \frac{4465 \times 6,3}{2 \times 569} = 24,8 \text{ м}^3.$$

Принимаем высоту загрузки в соответствии с рекомендациями [4, с. 458]  $h = 2,5$  м, тогда необходимая площадь рабочих фильтров будет:

$$F = \frac{V}{h} = 24,8 / 2,5 = 8,85 \text{ м}^2. \quad (2.62)$$

Соответственно диаметр аппарата

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 8,85}{3,14}} = 3,35 \text{ м}. \quad (2.63)$$

Принимаем внутренний диаметр аппарата

$$D = 3,4 \text{ м}.$$

Расчетная скорость фильтрования

$$\omega_{\phi} = \frac{(1 + \alpha) G}{F} = \frac{(1 + 0,2) \times 155}{8,85} = 21,0 \text{ м/ч}. \quad (2.64)$$

Выполним расчет насоса для подачи воды в теплообменник. Вода забирается из буферной емкости после обессоливания, сжимается до давления  $P_B = 10,0$  МПа в насосе и подается в утилизационный теплообменник.

Согласно технологическому расчету, требуемый расход воды

$$G_B = 40,727 \text{ кг/с}.$$

Плотность воды при рабочих условиях на входе в утилизационный теплообменник

$$\rho_B = 832 \text{ кг/м}^3.$$

Тогда объемный расход воды

$$Q = G_B / \rho_B = 40,727 / 832 = 4,895 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Принимаем расположение установки на одном уровне с точкой ввода воды в аппарат, длина трубопровода 20 м. Принимаем скорость воды в трубопроводе 3 м/с. Тогда диаметр трубопровода

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,895 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 3}} = 0,046 \text{ м}.$$

Примем трубопровод  $d \times s = 55 \times 4,5$  мм. Скорость воды в трубопроводе [5]

$$\omega = \frac{Q}{s}$$

$$L_{\text{пов}}^{90} = 1,65 \cdot 0,046 = 0,0759 \text{ м.}$$

Тогда полная эквивалентная длина всех местных сопротивлений

$$L_{\text{экв}} = 2 L_{\text{пов}}^{90} = 2 \cdot 0,0759 = 0,1518 \text{ м.}$$

Итого

$$h_{\text{тр+мс}} = \frac{0,133 \cdot (20 + 0,1518)}{0,055 - 2 \cdot 0,0045} \cdot 0,44 = 25,6 \text{ м.}$$

Требуемый полный напор насосной установки:

$$H = \frac{P_{\text{изб}}}{g \rho} + H_{\text{п}} + h_{\text{тр+мс}} + h_{\text{ск}},$$

где  $P_{\text{изб}} = 10,0$  МПа – избыточное давление в аппарате.

Следовательно

$$H = 10,0 \cdot 10^6 / 9,81 / 832 + 5 + 25,6 + 0,44 = 1256 \text{ м.}$$

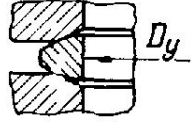
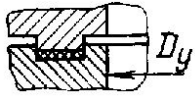
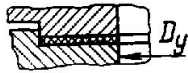
По полученному напору и производительности выбираем центробежный многоступенчатый питательный насос ПЭ 150-83 [3, табл. 1.3] с максимальной производительностью  $Q_{\text{max}} = 5,2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{ч}$  и номинальным напором  $H = 1480 \text{ м}$ . При снижении расхода до фактического согласно характеристике насоса напор тоже будет снижен.

Мощность электродвигателя насоса 410 кВт.

Утилизационный теплообменник представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат высотой 17 метров, установленный на опоре 10 на открытом воздухе. Аппарат состоит из обечайки 5, двух трубных решеток 4 и двух распределительных камер 3, закрытых сферическими днищами 1.

Для соединения аппарата с технологическими трубопроводами используются штуцера 11, 12 и 13. Типы обтюраций фланцевых соединений приведены в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Выбор типа обтюрации для фланцевых соединений

Тип обтюрации	Тип прокладки
<p>Среда токсичная, агрессивная, взрыво-пожароопасная <math>P_y = 27</math> МПа, <math>t = 330</math> °С</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ввод горячего газа <math>D_y = 200</math> мм;</li> <li>• крышка верхнего днища <math>D_y = 500</math> мм</li> </ul>	
	<p>тип VII, с линзовой прокладкой между конической поверхностью</p> <p>Линзовая стальная, от 6,4 до 250 МПа, <math>t</math> до 540 °С</p>
<p>Среда токсичная, агрессивная, взрыво-пожароопасная <math>P_y = 27</math> МПа, <math>t = 215</math> °С</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• вывод холодного газа <math>D_y = 200</math> мм;</li> <li>• крышка нижнего днища <math>D_y = 500</math> мм;</li> </ul>	
	<p>тип III-A, с прокладкой прямоугольного сечения в шип-пазу, <math>P</math> от 10 до 40 МПа, <math>t</math> до 540 °С</p> <p>Прямоугольная алюминиевая, от 10 до 40 МПа, до 300 °С</p>
<p>Среда инертная малоагрессивная <math>P_y = 10</math> МПа:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ввод холодной воды <math>D_y = 150</math> мм, <math>t = 102</math> °С;</li> <li>• вывод горячей воды <math>D_y = 150</math> мм, <math>t = 285</math> °С.</li> </ul>	
	<p>тип II, с прокладкой прямоугольного сечения в выступ-впадине, <math>P</math> до 20 МПа, <math>t</math> до 540 °С</p> <p>Прямоугольная паронитовая, до 10 МПа, до 400 °С</p>

Коэффициент запаса прочности по пределу прочности и по пределу текучести для легированной прокатной стали

$$n_B := 2.6; n_T := 1.65.$$

Номинальное допускаемое напряжение для легированной стали при расчетной температуре до 525 °С

$$\sigma_x := \min\left(\frac{\sigma_B}{n_B}, \frac{\sigma_T}{n_T}\right) = \left(\frac{448}{2.6}, \frac{294}{1.65}\right) = 172 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{x20} := \min\left(\frac{\sigma_{B20}}{n_B}, \frac{\sigma_{T20}}{n_T}\right) = \left(\frac{570}{2.6}, \frac{360}{1.65}\right) = 218 \text{ МПа}.$$

Поправочный коэффициент, учитывающий вид заготовки, для листового проката

$$\eta := 1.$$

Допускаемое напряжение при статических нагрузках

$$\sigma_d := \eta \cdot \sigma_x = 1 \cdot 172 = 172 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{d20} := \eta \cdot \sigma_{x20} = 1 \cdot 218 = 218 \text{ МПа}.$$

Допускаемое давление при испытании

$$\sigma_{и} := \frac{\sigma_{T20}}{1.1} = 360 / 1.1 = 327 \text{ МПа}.$$

Коэффициент прочности сварных швов при автоматической сварке под слоем флюса

$$\phi := 1.0.$$

Расчетное давление среды

$$p = p_c = 10,6 \text{ МПа}.$$

Давление при испытании для сварных аппаратов

$$p_{и} := \max\left(\frac{1.25 \cdot p \cdot \sigma_{d20}}{\sigma_{и}}, p + 0.3 \text{ МПа}\right) = \left(\frac{1.25 \cdot 10,6 \cdot 218}{172}, 10,6 + 0,3\right) = 16,8 \text{ МПа}.$$

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки, работающей под внутренним давлением, при базовом внутреннем диаметре определяется по формуле

$$s_p := \max\left(\frac{D_B \cdot p}{2 \cdot \sigma_d \cdot \varphi - p}, \frac{D_B \cdot p_{и}}{2 \cdot \sigma_{и} \cdot \varphi - p_{и}}\right) = \left(\frac{1800 \cdot 10,6}{2 \cdot 172 \cdot 1,0 - 10,6}, \frac{1800 \cdot 16,8}{2 \cdot 327 \cdot 1,0 - 16,8}\right) = 57,1 \text{ мм.}$$

Минимальная толщина стенки цилиндрической обечайки

$$s_{об} := s_p + c_K + c_3 = 57,10 + 0,75 + 0,00 = 57,9 \text{ мм.}$$

Принимаем исполнительную толщину стенки

$$s_{об} := 58 \text{ мм.}$$

Допускаемое давление в обечайке в рабочих условиях

$$p_{д} := \frac{2 \sigma_d \cdot \varphi \cdot (s_{об} - c_K)}{D_B + (s_{об} - c_K)} = \frac{2 \cdot 172 \cdot 1,0 \cdot (58,00 - 0,75)}{1800 + (58,00 - 0,75)} = 10,6 \text{ МПа.}$$

Допускаемое давление в обечайке при испытании

$$p_{ид} := \frac{2 \sigma_{и} \cdot \varphi \cdot (s_{об} - c_K)}{D_B + (s_{об} - c_K)} = \frac{2 \cdot 327 \cdot 1,0 \cdot (58,00 - 0,75)}{1800 + (58,00 - 0,75)} = 20,2 \text{ МПа.}$$

Наибольший допустимый диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления

$$d_{д} := 2 \cdot \left[ \left( \frac{s_p - c_K}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{2 D_B \cdot (s_p - c_K)} - c_K \right] =$$

$$= 2 \cdot \left( \left( \frac{57,10 - 0,75}{0,75} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{2 \cdot 1800 \cdot (57,10 - 0,75)} - 0,75 \right) = 167 \text{ мм.}$$

Диаметр отверстий для штуцеров ввода/вывода воды в обечайке составляет 136 мм. Толщина стенки удовлетворяет условию прочности.

### 3.2.2 Расчет обечайки распределительной камеры

Исходные данные к расчету:

- рабочее избыточное давление среды в аппарате  $p_c = 27,4$  МПа;
- внутренний диаметр обечайки  $D_B = 1600$  мм;
- максимальная температура корпуса  $t_K = 330$  °С.

Изм.	Лист	N докум.	Подп.	Дата

Принимаем исполнительную толщину стенки по условию максимально допустимого отверстия в толстостенной обечайке  $s_1 = 202$  мм:

$$s_{об} = 210 \text{ мм.}$$

Допускаемое давление в обечайке

$$p_d := \sigma_d \cdot \varphi_{ш} \cdot \ln \left( \frac{D_B + 2s_{об}}{D_B + 2c_K} \right) = 218 \cdot 1,0 \cdot \ln \left( \frac{1600 + 2 \cdot 210}{1600 + 2 \cdot 0,75} \right) = 40,0 \text{ МПа.}$$

Допускаемое давление в обечайке при испытании

$$p_{ид} := \sigma_{и} \cdot \varphi_{ш} \cdot \ln \left( \frac{D_B + 2 \cdot s_{об}}{D_B + 2 \cdot c_K} \right) = 327 \cdot 1,0 \cdot \ln \left( \frac{1600 + 2 \cdot 210}{1600 + 2 \cdot 0,75} \right) = 76,0 \text{ МПа.}$$

### 3.2.3 Расчет крышки

Для технологических отверстий используется плоская крышка. Диаметр отверстия

$$D_k = 500 \text{ мм.}$$

Наружный диаметр линзовой прокладки

$$D_H = D_k + 2h,$$

где  $h$  – ширина прокладки,  $h = 20$  мм;

$$D_H = 500 + 2 \cdot 20 = 540 \text{ мм.}$$

Диаметр окружности шпилек

$$D_{ш} = D_H + 2e + d_б,$$

где  $e$  – конструктивная добавка,  $e = 30$  мм;

$d_{ш}$  – диаметр шпилек, выбираем как для фланцевого соединения  $P_y = 27$  МПа и  $D_y = 500$  мм,  $d_б = 40$  мм;

$$D_{ш} = 540 + 2 \cdot 30 + 40 = 640 \text{ мм.}$$

Коэффициент

$$\gamma = D_б / D_H = 640 / 540 = 1,19.$$

Для этого коэффициента [5]

$$K_1 = 0,32 \text{ м.}$$

$$P_{\sigma 1} := \alpha \cdot P_c + P_n + \frac{4M_{II}}{D_K} = 1,1 \cdot 0,953 + 0,35 + 4 \cdot 0 / 212 = 1,39 \text{ МН.}$$

В рабочих условиях

$$P_{\sigma 2} := P_c + P_n + \frac{4M_{II}}{D_K} = 0,953 + 0,35 + 4 \cdot 0 / 212 = 1,30 \text{ МН.}$$

Расчетный диаметр окружности шпилек с учетом коэффициента  $\phi = 2,02$  [5]

$$D_{ш} = \phi d_{ш}^{0,933} = 2,02 \cdot 0,192^{0,933} = 433 \text{ мм.}$$

Принимаем

$$D_{\sigma} = 440 \text{ мм.}$$

Материал шпилек – сталь 15ХМ

$$\sigma_{\sigma 20} := 450 \text{ МПа; } \sigma_{\sigma T} := 805 \text{ МПа.}$$

Допустимое напряжение

$$\sigma_{D\sigma} := \frac{\sigma_{\sigma T}}{1,5} = 805 / 1,5 = 536 \text{ МПа.}$$

Расчетный диаметр шпилек по максимальной нагрузке

$$d_{\sigma} := 0,42 \cdot \left( \sqrt{\frac{10P_{\sigma 1}}{\sigma_{D\sigma}} + D_K^2} - D_K \right) = 0,42 \cdot \left( \sqrt{\frac{10 \cdot 1,39}{536} + 212^2} - 212 \right) = 48,6 \text{ мм.}$$

Выбираем шпильки с диаметром резьбы

$$d_{\sigma} = 52 \text{ мм.}$$

Расчетное сечение шпилек

$$F_{\sigma} := \frac{\pi \cdot d_{\sigma}^2}{4} = 3,14 \cdot 52^2 / 4 = 2,12 \cdot 10^3 \text{ мм}^2.$$

Расчетное число шпилек

$$z := \frac{P_{\sigma 1}}{\sigma_{\sigma 20} \cdot F_{\sigma}} = \frac{1,39}{450 \cdot 2,12 \cdot 10^3} = 7,5;$$

$$z := \frac{P_{\sigma 2}}{\sigma_{\sigma T} \cdot F_{\sigma}} = \frac{1,30}{805 \cdot 2,12 \cdot 10^3} = 3,8.$$

Максимальное количество шпилек исходя из условия размещения по окружности

					vector-study.ru	Лист
Изм.	Лист	№ док.м.	Подп.	Дата		50

$$D_{\text{макс}} := D - d_{\text{н}} = 1600 - 22 = 1578 \text{ мм.}$$

Количество труб на диаметре

$$n_D := 2 \cdot \text{floor}\left(\frac{D_{\text{макс}}}{2t}\right) + 1 = 2 \cdot \text{floor}\left(\frac{1578}{2 \cdot 28}\right) + 1 = 57.$$

Фактическое минимальное расстояние между обечайкой и центрами труб

$$\frac{D - (n_D - 1) \cdot t}{2} = \frac{1600 - (57 - 1) \cdot 28}{2} = 16 \text{ мм.}$$

Общее число труб при размещении по шестиугольникам по таблице [6]

$$z = 1722.$$

Разность давлений в трубной решетке

$$\Delta p := p_{\text{тр}} - p_{\text{мтр}} = 27,4 - 10,6 = 16,8 \text{ МПа.}$$

Условие устойчивости труб при осевом сжатии исходя из усредненной нагрузки на них от давления в трубном пространстве

$$\sigma_{\text{сж}} := \frac{(D^2 - d_{\text{в}}^2 z) \cdot p_{\text{тр}}}{(d_{\text{н}}^2 - d_{\text{в}}^2) \cdot z} = \frac{(1600^2 - 15^2 \cdot 1722) \cdot 27,4}{(22^2 - 15^2) \cdot 1722} = 13,3 \text{ МПа.}$$

Радиус инерции поперечного сечения трубы

$$r := \frac{\sqrt{d_{\text{н}}^2 + d_{\text{в}}^2}}{4} = \frac{\sqrt{22^2 + 16^2}}{4} = 6,657 \text{ мм.}$$

Гибкость трубы

$$\lambda := \frac{L}{r} = 9500 / 6,657 = 1427.$$

Коэффициент уменьшения допускаемого напряжения при осевом сжатии по графику [7, рис. 15.9] в зависимости от гибкости  $\lambda$

$$\varphi = 0,1.$$

Проверка условия устойчивости труб

$$\sigma_{\text{сж}} \leq \varphi \cdot \sigma_{\text{трд\_сж}};$$

$$13,3 \leq 0,1 \cdot 140;$$

$$13,3 \leq 14.$$

Изм.	Лист	N докум.	Подп.	Дата



#### 4 Специальный раздел

Утилизационный теплообменник представляет собой аппарат вертикального типа. Высота обечайки аппарата 7800 мм, диаметр 1600 мм. Аппарат снабжен крышкой и днищем, имеет монтажные штуцера.

В обечайке корпуса аппарата расположены теплообменные трубы. Обечайка аппарата изготавливается сварным способом.

Крышка и днище аппарата изготавливаются при помощи штамповки на гидравлическом прессе. Согласно прочностному расчету толщина стенки обечайки  $S = 52$  мм.

Конструкция аппарата является технологичной, так как имеется возможность расчленения ее на отдельные детали и узлы, обеспечивается сборка и сварка с применением сборочных приспособлений, автоматической и ручной дуговой сварки.

Рассмотрим процесс изготовления обечайки аппарата. Различают следующие основные группы и виды операций:

##### 1. Заготовительные:

- первичная обработка основного металла (правка листового и сортового проката, очистка металла до сварки);
- обработка заготовок (разметка и наметка, резка-раскрой листовой стали и другого проката, обработка кромок сварных соединений, гибка заготовок из листового, трубного и сортового проката);
- прессовые (горячая и холодная штамповка);

##### 2. Сборочные – сборка свариваемых элементов

- до сварки продольных и поперечных швов корпусов аппаратов;
- до сварки деталей аппаратов-штуцеров, кронштейнов, лап, фланцев, элементов усиления отверстий и др.;
- сборка трубных узлов и секций трубопроводов;
- сборка монтажных узлов (блоков)

##### 3. Сварочные: автоматическая; ручная дуговая; контактная;

Длина обечайки  $H = 7800$  мм. Количество листов по оси аппарата

$$n = H / h = 7800 / 2600 = 3.$$

Карта раскроя обечайки приведена на рисунке 4.1.

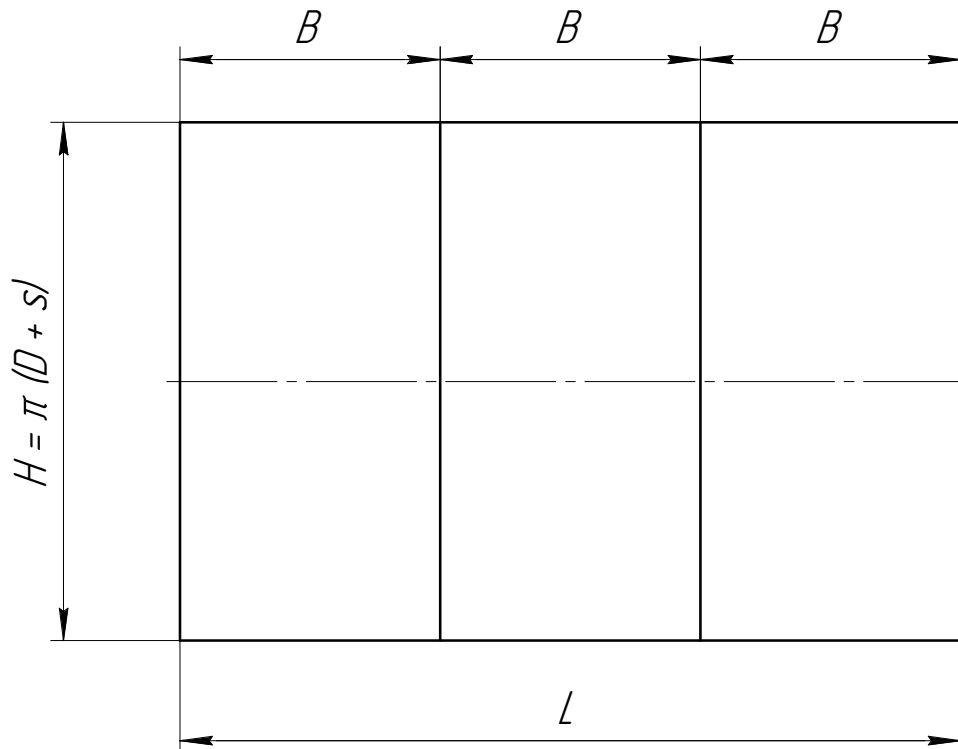


Рисунок 4.1 – Карта раскроя обечайки на листы

#### 4.1.2 Правка

Правка – разновидность технологии обработки давлением; в листопрокатных цехах осуществляется в горячем и холодном состояниях непосредственно после прокатки или термической обработки, является основной операцией отделки проката; в аппаратурных цехах применяется в холодном состоянии.

Правка представляет собой процесс многократного знакопеременного пластического изгиба в обрабатываемом металле при напряжениях, превосходящих предел текучести. Степень деформации проката, поступающего в обработку, не может быть однородной по условиям происхождения волнистости или вследствие других отклонений от заданной геометрической формы, часто случайного характера.

Для правки листового и сортового проката применяют правильные роликовые машины. Рабочее вращательное движение осуществляется двумя рядами

Изм.	Лист	№ докцм.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ют или которыми смачивают обрабатываемые поверхности или изделия. После травления металл нейтрализуют щелочью, затем обрабатываемую поверхность промывают водой и просушивают. Очистка при помощи кислот мало распространена вследствие неблагоприятных условий труда и профессиональной вредности.

Пневматическая пескоструйная и дробеструйная очистки впервые была применена в литейных, кузнечных, термических и котельно-сварочных цехах. Для очистки металла выбираем дробеструйную камеру периодического действия.

#### 4.1.4 Разметка

Разметка заготовок из листового проката осуществляется построением разверток и вычерчиванием на плоскости. При этом имеют в виду раскрой металла с минимальными отходами.

Различают два метода разметки: камеральный и плазовый. Камеральный метод заключается в переносе размеров на материал по предварительно разработанным эскизам развертки. Эскизы содержат размеры, вычисленные по данным рабочих чертежей деталей, и выполняются в технологических или конструкторских бюро.

Плазовый метод разметки заключается в том, что развертка выполняется в натуральную величину на специально подготовленной плоскости, называемой плазом, или непосредственно на металле.

В производстве аппаратуры, как правило, пользуются камеральным методом. Плазовый метод применяют при выполнении сложных деталей аппаратов. Разметку для изготовления обечайки выполняем камеральным методом, в качестве материала для шаблона выбираем листовую сталь толщиной 1,0 мм.

#### 4.1.5 Резка

Кислородная резка металлов получила широкое распространение. По сравнению с резкой на металлорежущих станках она имеет ряд преимуществ: относительно небольшую стоимость средств производства, транспортабельность многих типов оборудования, широкую область и универсальность применения, высокую

Химический состав разрезаемой стали определяет структурный класс ее, соответствующую критическую скорость закалки и допускаемую скорость охлаждения в зоне термического влияния. Этим определяется влияние процесса резки на металл в зоне разреза и его свойства, необходимость предварительной и последующей термообработки заготовки.

В процессе кислородной резки образуются окислы легирующих элементов, что определяет состав шлака и его физические свойства — температуру плавления, скорость кристаллизации и вязкость.

Наряду с кислородно-флюсовой резкой в последние годы для резки нержавеющей сталей и цветных металлов чаще применяют дуговую плазменную струю (резка сжатой или проникающей дугой).

Плазменная резка основана на плавлении металла в объеме прорези весьма концентрированным теплом дуги и удалением расплавленного металла кинетической энергией плазменной струи; в связи с этим снижается тепловой эффект процесса резки. Этот вид резки, как и кислородной, применяется как вручную, так и при помощи газорезущих машин. Чистота поверхности разреза при машинной резке, для деталей со свободными размерами исключает последующую механическую обработку.

Установки для машинной резки позволяют резать нержавеющую сталь и цветные металлы толщиной до 80–120 мм со скоростью 6–450 м/ч. Со снижением стоимости и заменой дефицитных материалов (неплавящиеся вольфрамовые электроды, образующие дуговой разряд) и газов, образующих плазменную струю (стабилизирующие газы: аргон, водород, азот), резка плазменной дугой найдет весьма широкое применение. Эффективна резка нержавеющей стали в среде азота или в смеси с водородом. Рекомбинация атомов азота и водорода в полости разреза сопровождается выделением тепла, что улучшает поверхность разреза. Эффективно применение электроннолучевой резки высоколегированных и закаленных сталей.

Для резки заготовки выбираем машинную резку плазменной струей, выделенной из столба дуги со скоростью 6 м/ч.

#### 4.1.8 Сварка

В производстве аппаратуры стыковые швы предпочитают выполнять двусторонними по соображениям о равнопрочности с основным металлом. Для двусторонних швов коэффициент прочности  $\phi = 1$ .

Широко распространены стыковые швы без скоса кромок, как наиболее простая и экономичная разновидность сварных соединений. При этом предельно упрощаются заготовительные операции и достигается экономия присадочных материалов; доля основного металла в шве составляет 70–80%. При автоматической электродуговой двусторонней сварке под флюсом просвет выбирают в соответствии с толщиной стали и режимами операции для каждого слоя.

Если невозможен просвет необходимой величины, швы выполняются со скосом кромок с одной или двух сторон; чаще встречаются швы с двусторонним скосом кромок. Принятым конструктивным элементам сварного шва (угол скоса кромок, величина притупления) должны соответствовать режимы операции – скорость сварки, скорость подачи электродной проволоки, сила тока и др., чтобы разместить в полости шва наплавленный металл.

Для сварки обечайки выбираем шов со скосом кромок (см. рисунок 4.4).

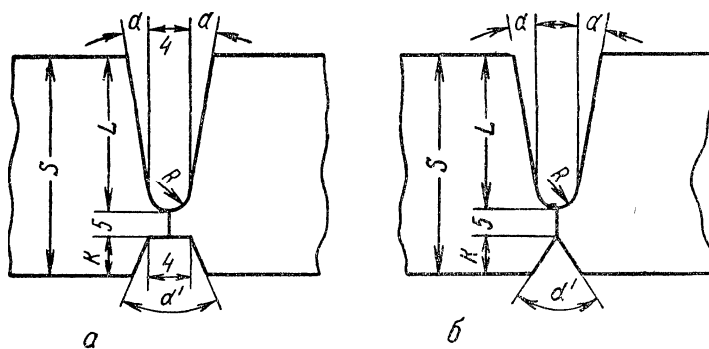


Рисунок 4.4 – Разделка кромок для односторонней многопроходной сварки

При выполнении многослойных швов при прочих равных условиях производительность труда существенно снижается.

Для сварки выбираем трактор ТС-35 (см. рисунок 4.5). Сварочный автомат тракторного типа ТС-35 предназначен для дуговой сварки под флюсом стыковых соединений с разделкой и без разделки кромок, для сварки угловых швов вертикальным и наклонным электродом и для сварки нахлесточных соединений.

Изм.	Лист	N докцм.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------



Рисунок 4.6 – Схема машины И-2224

#### 4.1.10 Контроль качества

Контроль основных этапов производства регламентирован. Характеристика важнейших элементов контроля основывается на регламентах, стандартах, которые объединяют требования технических условий на материалы к основным стадиям операционного контроля и методам испытания готовой продукции.

Контроль сварных швов производят дефектоскопом УД2-12. Дефектоскоп обеспечивает контроль материалов со скоростями распространения продольных ультразвуковых колебаний (УЗК) в диапазоне 2240 ... 6700 м/с и затуханием продольных УЗК не более 3,9 дБ/см.

В дефектоскопе предусмотрены:

- индикация зоны и формы напряжения временной регулировки чувствительности (ВРЧ) на экране электронно-лучевой трубки;
- индикация изменения амплитуды сигнала в децибелах на табло;
- подключение внешних устройств для регистрации аналогового сигнала;
- регулировка амплитуды сигнала генератора с сохранением спектра;
- настройка импульсной части дефектоскопа по встроенному цифровому индикатору;
- компенсированная отсечка шумов с сохранением информации, содержащейся ниже уровня отсечки;
- измерение координат и глубины залегания дефектов без нормирования амплитуды сигналов.

Изм.	Лист	№ докцм.	Подп.	Дата

## 4.2 Разработка маршрутной, технологической и операционной карт

### 4.2.1 Маршрутная карта

Маршрутная карта - документ, содержащий описание технологического процесса изготовления и контроля изделия в технологической последовательности с указанными данными о технологической оснастке, материалах и оборудовании в соответствии с указанными формами.

В маршрутной карте приведены указания на следующие операции: правка, очистка, разметка, резка, обработка кромок, вальцевание, сборка, сварка, калибровка, контроль оборудования. Приведены размеры заготовки, изделия, масса заготовки и изделия.

Маршрутная карта на изготовление обечайки представлена в таблице 4.1.

### 4.2.2 Технологическая карта

Технологическая карта применяется для более детальной разработки процесса (в сравнении с маршрутной). Она составляется на каждую деталь, узел. В технологической карте, в отличие от маршрутной, дополнительно предусмотрена разработка операций по участкам, переходам, позициям указываются режимы операций (таблица 4.2).

Технологическая карта охватывает весь процесс изготовления и контроля детали или узла.

### 4.2.3 Операционная карта

Операционная карта - технологический документ, содержащий описание технологической операции с расчленением её по переходам и указанием параметров режимов обработки, расчётных норм и трудовых нормативов. В операционной карте выделено место для операционного эскиза где графически отражено состояние заготовки Вов время выполнения данной операции или перехода.

Операционная карта на проведения сборочно-сварочных операций приведена в таблице 4.3.

#### 4.4 Технические условия на эксплуатацию и ремонт

Для химической промышленности установлены следующие системы технического обслуживания и ремонта оборудования: система планово-предупредительного ремонта (ППР); система послеосмотрового ремонта (ПОР).

Система планово-предупредительного ремонта — это такая организационно-техническая форма обеспечения работоспособности действующих машин и аппаратов, при которой межремонтное обслуживание и ремонт аппаратов производится по определенному плану, что уменьшает простой оборудования и предупреждается внезапный выход его из строя.

Действующая в химической промышленности система ремонта технологического оборудования предусматривает следующие мероприятия:

- техническое обслуживание;
- текущий ремонт;
- капитальный ремонт.

Техническое обслуживание – это комплекс работ по поддержанию оборудования в исправном состоянии между ремонтами.

В объем технического обслуживания входят:

- эксплуатационный уход – обтирка, чистка, наружный осмотр, смазка, наблюдение за состоянием крепежных деталей, проверка исправности заземления; все обнаруженные неисправности должны быть зафиксированы эксплуатационным персоналом в сменном журнале и устранены в возможно короткий срок силами эксплуатационного и обслуживающего персонала;

- мелкий ремонт оборудования – подтяжка креплений и сальников, частичная регулировка, выявление общего состояния тепловой изоляции; обслуживающий персонал должен регулярно просматривать записи эксплуатационного персонала в сменном журнале и принимать меры по устранению указанных в нем неисправностей.

Текущий ремонт – представляет собой работы по сохранению оборудования и обеспечения нормальной работоспособности его до очередного капитального ремонта. Текущий ремонт обычно включает в себя следующие работы:



Перед началом ремонта утилизационного теплообменника его необходимо отключить от трубопроводной арматуры и освободить от рабочей среды и открыть люк-лаз. Проветрить аппарат, а затем продуть его паром. После просушки реактора необходимо провести внутренний осмотр аппарата.

Перед проведением внутреннего осмотра аппарата необходимо проконтролировать состав среды в аппарате и только после этого произвести внутренний осмотр аппарата. При работе внутри аппарата пользоваться только электрооборудованием с питанием 12 В.

Осмотру подлежат: сварные швы, соединяющие обечайку и днище, сварные швы на конденсатоотводчике в местах его соединения с днищем, также сварные швы патрубков подвода нитрозных газов и отвода очищенных газов в местах их соединений с корпусом аппарата.

Также контролируется наличие трещин в аппарате в местах вырезов. Обнаруженные дефекты устраняются в соответствии требованиями «Правил устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением».

нализация. Регулирование температуры выполняется изменением расхода воды в межтрубное пространство теплообменника ( $153 \text{ м}^3/\text{ч}$ ).

Основными возмущающими воздействиями для проектируемого аппарата являются температура ( $330 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и расход АВС ( $0,729 \text{ м}^3/\text{с}$ ) на входе в утилизационный теплообменник. Дополнительно выполняется контроль температуры газа на выходе из выносного теплообменника ( $120 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и температуры воды на входе ( $102 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и на выходе ( $300 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Контролируется расход обогащенной АВС в выносной теплообменник ( $0,816 \text{ м}^3/\text{с}$ ) и ее температура на входе ( $160 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и на выходе ( $205 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Для обеспечения непрерывности работы теплообменника выполняется контроль уровня в емкости воды ( $1,4 \text{ м}$ ) и сигнализация при снижении объема воды ниже допустимого ( $0,2 \text{ м}$ ).

Утилизатор работает под давлением, поэтому для предупреждения о потенциально аварийных ситуациях предусмотрен контроль и сигнализация давления в трубном ( $27,4 \text{ МПа}$ ) и межтрубном ( $10,6 \text{ МПа}$ ) пространстве утилизационного теплообменника и в трубном ( $27,4 \text{ МПа}$ ) и межтрубном ( $31,8 \text{ МПа}$ ) пространстве выносного теплообменника.

Управление температурами потоков в выносном теплообменнике не выполняется. Аппарат предназначен для возможной дополнительной утилизации тепла АВС. Дальнейшее охлаждение АВС выполняется в аппарате воздушного охлаждения. Нагрев обогащенной АВС до требуемой температуры выполняется во встроенном теплообменнике колонны синтеза.

## 5.2 Описание выбранной системы сбора сигналов и управления

### 5.2.1 Описание контуров схемы

Контур стабилизации расхода воды в межтрубное пространство утилизационного теплообменника предназначен для стабилизации заданного расхода воды. Датчик расхода поз. 5-1 снимает текущее значение расхода, сигнал с него поступает на контроллер, который в соответствии с программой выдает сигнал для устройства управления оборотами электродвигателя насоса поз. 5-2.

					vector-study.ru	Лист
Изм.	Лист	N докцм.	Подп.	Дата		72

- прямое соединение через волоконно-оптический кабель 100 Мб/сек Ethernet с сетью управления Mesh для высокоскоростной передачи данных, которая невосприимчива к электромагнитным помехам на участках волоконно-оптических кабелей;
- опция отказоустойчивой работы, которая позволяет получить улучшенный коэффициент готовности и безопасность, используя уникальное сравнение сдвоенных контроллеров для всех исходящих сообщений;
- соединение с Ethernet или с последовательными устройствами через FDSI, что позволяет подключать новые устройства без каких-либо изменений программного обеспечения контроллера. К FDSI относятся модули FBM230, FBM231, FBM232 и FBM233;

В качестве интерфейса между полевыми устройствами и управляющим процессором системы I/A Series используются модули Fieldbus (FBM). Они выполняют необходимое преобразование данных, обеспечивая полную поддержку для аналоговых измерений, считывания дискретных данных, аналогового или дискретного управления и цифровой связи. Для осуществления связи между центральным блоком FCP270 и периферийными модулями FBM, использующими аналоговые входные сигналы, используется блок аналогового ввода (AIN), который принимает входной сигнал от одной точки (объекта управления).

Для преобразования сигналов, поступающих от измерительных устройств, используются модуль FBM205. Его характеристика представлена в таблице 5.1. Сигналы с первичных преобразователей поступают на входы модульных плат FBM, где преобразуются в цифровой код, передаваемый по шине Fieldbus к объединительной плате центрального управляющего процессора FCP270.

Таблица 5.1 – Характеристики используемых модулей ввода информации

FBM	Функциональное описание	Тип входа/выхода	Варианты подключения
FBM205	32 аналоговых входа, 32 аналоговых выхода, 4-20 мА	Аналоговый вход / аналоговый выход	от 1 до 32 аналоговых входов/выходов
	16 аналоговых входов, 4-20мА	Аналоговый вход	от 1 до 16 аналоговых входов

жидких и газообразных сред, по отношению к которым материал защитной арматуры является коррозионностойким.

Чувствительный элемент первичного преобразователя и встроенный в головку датчика микропроцессорный преобразователь преобразуют измеряемую температуру в унифицированный выходной сигнал постоянного тока, что дает возможность построения АСУТП без применения дополнительных нормирующих преобразователей.

Для измерения температуры воды перед утилизационным теплообменником (поз. 2-1, 120 °С,  $P_y$  10 МПа,  $D_y$  150 мм) и после теплообменника (поз. 3-1, 300 °С,  $P_y$  10 МПа,  $D_y$  150 мм) используются термопреобразователи микропроцессорные ТХАУ Метран-271 МП-100.15 с пределом измерения -40...800 °С и унифицированным токовым выходным сигналом 4-20 мА.

Для измерения температуры обогащенной АВС перед выносным холодильником газа (поз. 13-1, 160 °С,  $P_y$  32 МПа,  $D_y$  250 мм) и после теплообменника (поз. 14-1, 205 °С,  $P_y$  32 МПа,  $D_y$  250 мм) используются термопреобразователи микропроцессорные ТХАУ Метран-271 МП-320.25 с пределом измерения -40...800 °С и унифицированным токовым выходным сигналом 4-20 мА.

### 5.3.2 Датчики расхода

Для измерения расхода АВС перед теплообменником (поз. 8-1, 0,729 м<sup>3</sup>/с,  $P_y$  32 МПа,  $D_y$  200 мм) и расхода обогащенной АВС в выносной холодильник газа (поз. 15-1, 0,816 м<sup>3</sup>/с,  $P_y$  32 МПа,  $D_y$  250 мм) выбираем массовые кориолисовые расходомеры Micro Motion серии CMFH (CMFH C8-320.20 для расхода АВС перед утилизатором и CMFH C8-320.25 для расхода обогащенной АВС перед выносным теплообменником). Кориолисовые расходомеры Micro Motion предназначены для прямого измерения массового расхода, вычисления объемного расхода жидкостей, газов и взвесей. Все измерения выполняются в реальном времени. Дополнительного оборудования для измерений не требуется. Широкий набор преобразователей включает модели для установки в опасных зонах, требующих обеспе-

#### 5.3.4 Датчики уровня

Для измерения уровня в емкости (поз. 1-1, 1,4 м) выбираем ультразвуковой уровнемер для измерения уровня NUS-R-4 с аналоговым выходом 4...20 мА. Прибор калибруется на измерение уровня от 0,2 м до 18 м. Использование более простого буйкового уровнемера затруднено, т.к. давление в емкости составляет около 8,0 МПа (буйковые уровнемеры выпускаются на давление до 0,6 МПа).

Ультразвуковой уровнемер NUS-R-4 производства Kobold предназначен для бесконтактного непрерывного измерения уровня и объема в резервуарах или измерения расхода в открытых каналах. Технология измерения уровня основана на бесконтактном ультразвуковом принципе. Технология ультразвукового измерения основана на принципе измерения времени, необходимого для прохождения ультразвуковых импульсов от сенсора до поверхности измеряемой среды и обратно. Сенсор излучает серию ультразвуковых импульсов и принимает отражаемое эхо. Электроника оценивает время прохождения эхо импульса и вычисляет уровень. Электроника располагается компактно в корпусе прибора. Для удаленной передачи информации уровнемер имеет аналоговый выход, а для контроля и сигнализации есть релейный выход. Для критических изменений уровня в емкости предусмотрена сигнализация.

#### 5.3.5 Исполнительные устройства

Для управления расходом воды в утилизационный теплообменник посредством управления электродвигателем насоса используется магнитный пускатель КМД-15020 (поз. 5-2). Магнитный пускатель КМД-15020R предназначенный для дистанционного пуска, регулирования оборотов и остановки трёхфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Пускатель неререверсивный, с реле. Номинальный ток контактов главной цепи: 150 А. Реле предназначено для автоматической остановки электродвигателей при перегрузке, регулируемый ток теплового реле составляет 136-160 А. Прибор поставляется во взрывозащищенном исполнении.

Продолжение таблицы 5.1.

1	2	3	4	5	6	7
4-1	Температура обогащенной АВС на входе в холодильник газа	160 °С	На трубопроводе	Термопреобразователь микропроцессорный ТХАУ Метран-271 Р <sub>у</sub> 32 МПа D <sub>у</sub> 250 мм с пределом измерения -40...800 °С и унифицированным токовым выходным сигналом 4-20 мА	Метран-271 МП-320.25	ПГ «МЕТРАН», г. Челябинск
12-1	Температура обогащенной АВС на выходе из холодильника газа	205 °С	На трубопроводе	См. поз. 4-1		
5-1	Расход воды на входе в утилизатор	153 м <sup>3</sup> /ч	На трубопроводе	Кориолисовый расходомер Micro Motion серии CMFH, предназначенный для прямого измерения массового расхода, вычисления объемного расхода жидкостей, газов и взвесей. Размеры D <sub>у</sub> 250 мм Р <sub>у</sub> 32,0 МПа. Выходной сигнал 4..20 мА.	CMFH C2-100.15	ПГ «МЕТРАН», г. Челябинск
5-2			По месту	Магнитный пускатель с тепловым реле для дистанционного пуска и остановки трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором.	КМД 15020R	«УралЭлектро», г. Медногорск
8-1	Расход АВС перед утилизационным теплообменником	0,729 м <sup>3</sup> /ч	На трубопроводе	Кориолисовый расходомер Micro Motion серии CMFH, предназначенный для прямого измерения массового расхода, вычисления объемного расхода жидкостей, газов и взвесей. Размеры D <sub>у</sub> 200 мм Р <sub>у</sub> 32,0 МПа. Выходной сигнал 4..20 мА.	CMFH C8-320.20	ПГ «МЕТРАН», г. Челябинск
8-1	Расход обогащенной АВС перед выносным теплообменником	0,816 м <sup>3</sup> /ч	На трубопроводе	Кориолисовый расходомер Micro Motion серии CMFH, предназначенный для прямого измерения массового расхода, вычисления объемного расхода жидкостей, газов и взвесей. Размеры D <sub>у</sub> 250 мм Р <sub>у</sub> 32,0 МПа. Выходной сигнал 4..20 мА.	CMFH C8-320.25	ПГ «МЕТРАН», г. Челябинск

## 6 Безопасность и экологичность проекта

Цель дипломного проекта – разработка утилизационного теплообменника для использования тепла азото-водородной смеси и нагревания воды, работающего в составе установки производства аммиака, что позволит сократить использование энергоресурсов за счет рекуперации тепла.

Для достижения этой цели в дипломном проекте предусмотрены следующие мероприятия:

1) проанализированы существующие схемы производства аммиака и выбрана установка, обеспечивающая наиболее полное превращение технологических газов в аммиак (см. раздел 1);

2) выполнены расчеты, определяющие оптимальные параметры для процесса охлаждения газа в аппарате (см. раздел 2);

3) для предотвращения разрушения аппарата в рабочих условиях выполнены соответствующие расчеты на прочность (см. раздел 3);

4) для обеспечения изготовления обечайки составлены технологическая, и операционная карты, определена схема сборки (см. раздел 4);

5) разработана система контроля и автоматизации оборудования, что обеспечивает безопасность обслуживающего персонала и достижение заданной степени очистки при изменяющихся условиях работы аппарата (см. раздел 5);

6) выполнены экономические расчеты, показывающие эффективность принятых решений (см. раздел 7).

Результаты дипломного проекта будут реализованы в природно-климатических условиях города Невинномысска, где климатические факторы, влияющие на рассеивание загрязняющих веществ в атмосфере, приняты согласно данным Ставропольского краевого центра по гидрометеорологии: средняя максимальная температура наиболее жаркого месяца  $T_{л} = 29,1^{\circ} \text{C}$ ; средняя максимальная температура наиболее холодного  $T_{з} = -0,4^{\circ} \text{C}$ .

Наиболее опасным соединением является аммиака, так как он вследствие своей медленной растворимости во влаге, покрывающей слизистые оболочки дыхательных путей, имеет значительный скрытый период между моментами поступления ядовитых газов в организм и началом развития болезненных явлений, преимущественно в глубоких отделах органов дыхания.

После вдыхания аммиака у пострадавшего во многих случаях возникает кашель, отдышка, загрудинные боли; эти первичные явления часто проходят при выходе пострадавшего из загазованного помещения на свежий воздух, а затем через час или несколько часов снова нарастает отдышка, появляются кашель, боли в груди, всё более усиливающееся затруднение дыхания, развиваются синюшность и тяжёлые, опасные для жизни явления отёка лёгких.

Систематическое воздействие превышающих предельно допустимые концентрации, но ещё не способных острое отравление концентраций аммиака ведёт к развитию тяжёлых хронических заболеваний дыхательных путей – хронических бронхитов, бронхиолитов, токсических пневмосклерозов, часто осложнённых астмоидными приступами, бронхоэктазиями и явлениями вторичной слабости сердца.

Водяной пар высокого давления опасен в основном тем, что при воздействии на незащищенные участки тела вызывает термические ожоги. Ожог – это повреждение тканей, возникающее от местного теплового, химического, электрического или радиационного воздействия.

Тяжесть ожогов определяется прежде всего глубиной повреждения тканей; различают следующие степени ожогов [14]: I – покраснение и отечность пострадавшей кожи; II – отслойка эпидермиса с образованием пузырей; III А – омертвление поверхностных слоев кожи; III Б – омертвление всех слоев кожи; IV – омертвление глубжележащих мягких тканей, костей, суставов. Ожоги I и II степени называют поверхностными, все остальные — глубокими. Ожоги 10% всей кожи и более принято считать обширными, менее 10% — ограниченными. Ограниченные ожоги III и IV степени опасны для жизни в случае тяжелых осложнений и могут повлечь за собой обезображивание (ожоги лица), развитие рубцовых структур

Изм.	Лист	N докум.	Подп.	Дата



ских показателей, нарушает биоэлектрическую активность головного мозга с проявлением общих функциональных изменений в организме.

При импульсных и нерегулярных шумах степень воздействия шума повышается. Изменения в функциональном состоянии центральной и вегетативной нервных систем наступают гораздо раньше и при меньших уровнях шума, чем снижение слуховой чувствительности.

Работающие в условиях длительного шумового воздействия испытывают раздражительность, головные боли, головокружение, снижение памяти, повышенную утомляемость, понижение аппетита, боли в ушах и т.д. Воздействие шума может вызывать негативные изменения эмоционального состояния человека, вплоть до стрессовых. Все это снижает работоспособность человека и его производительность, качество и безопасность труда.

Характер и глубина воздействия электрического тока на организм человека зависит от силы и рода тока и времени его действия, пути прохождения через тело человека, физического и психологического состояния последнего. Так, сопротивление человека в нормальных условиях при сухой неповрежденной коже составляет сотни кОм, но при неблагоприятных условиях может упасть до 1 кОм.

Пороговым(ощутимым) является ток около 1 мА. При большем токе человек начинает ощущать неприятные болезненные сокращения мышц, а при токе 12-15 мА уже не в состоянии управлять своей мышечной системой и не может самостоятельно оторваться от источника тока. Такой ток называется неотпускающим.

Действие тока свыше 25 мА на мышечные ткани ведет к параличу дыхательных мышц и остановке дыхания. При дальнейшем увеличении тока может наступить фибрилляция (судорожное сокращение) сердца. Ток 100 мА считают смертельным.

Переменный ток более опасен, чем постоянный. Имеет значение то, какими участками тела человек касается токоведущей части. Наиболее опасны те пути, при которых поражается головной или спинной мозг (голова–руки, голова–ноги), сердце и легкие (руки–ноги) [14].

Высоту одиночного стержневого молниеотвода определяют по формуле [14]

$$h = \frac{r_x + 1,63h_x}{1,5}, \quad (6.1)$$

где  $r_x = 2,8/2 = 1,4$  м – наружный радиус аппарата;

$h_x = 22$  м – общая высота аппарата.

$$h = \frac{1,4 + 1,63 \cdot 22}{1,5} = 24,8 \text{ м.}$$

Высота зоны защиты над землёй составит

$$h_o = 0,92h = 0,92 \cdot 24,8 = 22,8 \text{ м.} \quad (6.2)$$

Радиус защиты на уровне земли определяется по формуле

$$r_o = 1,5h = 1,5 \cdot 24,8 = 37,2 \text{ м.} \quad (6.3)$$

Площадь зоны защиты молниеотвода от молнии определяется по формуле

$$S_M = \pi r_o^2 = 3,14 \cdot 37,2^2 = 4347 \text{ м}^2. \quad (6.4)$$

Площадь, занимаемая аппаратом, составит

$$S_K = \pi r_x^2 = 3,14 \cdot 1,4^2 = 6,2 \text{ м}^2. \quad (6.5)$$

Таким образом  $S_M > S_K$ , поэтому одним молниеотводом от молнии можно защитить не только колонну конденсации аммиака, но и близлежащие аппараты, в т.ч. утилизационный теплообменник.

Для обеспечения отвода электрического заряда в землю необходимо устанавливать заземлители. Линия заземления представляет собой вертикально забитые в грунт стальные трубы, диаметром 60 мм, которые соединяются с горизонтальной линией из стальной полосы, толщиной сечения 50 мм<sup>2</sup>. Для расчёта заземляющего устройства выбираем схему заземления в ряд [14]. Сопротивление заземления

$$R_{\text{СТО}} = \frac{0,16 \cdot \rho}{L} \cdot \ln \frac{2 \cdot L}{0,95 \cdot b} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot b + L}{4 \cdot h - L}, \quad (6.6)$$

где  $\rho = 100$  Ом·м – удельное сопротивления грунта;

$L = 2,5$  м – длина электрода;

$h = 1,95$  м – расстояние от поверхности земли до середины электрода;

$b = 0,05$  м – ширина полки.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Подготовка персонала в действиях чрезвычайной ситуации в мирное время производят через систему гражданской обороны.

Основные задачи гражданской обороны [14]:

1. Защита населения от оружия массового поражения и других средств нападения. Осуществляется проведением комплекса защитных мероприятий. "г
2. Повышение устойчивости работы объектов и отраслей народного хозяйства в условиях военного времени. Достигается заранее проведёнными мероприятиями (организационные, инженерно-технические и др.).
3. Проведение спасательных и неотложных аварийно-восстановительных работ в очагах поражения и зонах затопления.

Наиболее полное и организационное выполнение мероприятий ГО на предприятии достигается заблаговременной разработкой плана мероприятий. Он представляет собой заранее разработанный перечень мероприятий. В нём определяется объём, организация и порядок выполнения возложенных на неё задач. План разрабатывается текстурно с предложением в виде графиков и таблиц.

В случае объявления воздушной тревоги (сигнал по радио, сирены, прерывистые гудки) персонал должен действовать в соответствии с предусмотренным планом: выключить оборудование и покинуть производство в специально отведённые места для укрытия.

Безопасность и экологичность проекта подтверждается расчетами и указаниями. При соблюдении указанных требований гарантируется долговременная и безопасная работа утилизационного теплообменника.

## 7.2 Организация труда и расчета заработной платы

Расчет штатов и фонда заработной платы необходимо производить отдельно по 1) рабочим основного производства; 2) рабочим вспомогательного производства, которые могут включать в себя: рабочих ремонтных цехов; рабочих, обслуживающих оборудование; кладовщиков, лаборантов и т.д.

Отдельно производится расчет по инженерно-техническим работникам и служащим (по штатному расписанию). Далее производится расчет годовой фонд заработной платы по тарифу по формуле

$$\Phi_{зпт} = T_c \cdot Ч_p \cdot \Phi_{гвр},$$

где  $T_c$  – дневная тарифная ставка;  $Ч_p$  – численность рабочих;  $\Phi_{гвр}$  – годовой фонд времени (в днях и часах).

Фонд основной заработной платы рассчитывается по формуле

$$\Phi_{зпо} = \Phi_{зпт} + П + O_n + O_p,$$

где  $П$  – премии;  $O_n$  – оплата за работу в ночное время;  $O_p$  – оплата за работу в праздничные дни.

Также рассчитывается дополнительная заработная плата. Общая годовая заработная плата, определяется путем суммирования фонда основной и дополнительной заработной платы.

Расчет штатов и фонда заработной платы инженерно-технических работников осуществляется в соответствии со штатным расписанием. При расчете штатов и фонда заработной платы необходимо учитывать начисления на заработную плату.

Все данные и расчеты сведены в таблицы 7.2 и 7.3.

Таблица 7.2 – Разработочная таблица для расчета заработной платы рабочих

Профессия	Тарифный разряд	Явочное количество рабочих в смену	Явочное количество рабочих в сутки	Штатное количество рабочих	Списочное количество рабочих
1.Основные рабочие	6	12	36	37	37
2. Вспомогательные рабочие		5	15	15	15
2.1. По уходу и надзору за оборудованием	5	2	6	6	6
2.2. По текущему ремонту оборудования	4	3	9	9	9
Всего штатное количество рабочих		17	51	52	52

Изм.	Лист	N докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

необходимо знать общую сумму и состав затрат по аналогу (в лучшем варианте удельные капитальные вложения должны быть меньшими).

Себестоимость продукции – это выраженные в денежной форме затраты на производство и реализацию продукции (работ, услуг). Это один из важнейших показателей, характеризующий производство и реализацию инженерных проектов.

Для выявления резервов снижения себестоимости продукции необходимо знать не только общую сумму затрат по тому или иному продукту, но и величину расходов в зависимости от места их возникновения. Такую возможность дает классификация затрат по калькуляционным статьям. Для исчисления себестоимости отдельных видов продукции затраты группируются по статьям калькуляции.

Расходы, связанные с производством и реализацией включают в себя:

а) расходы, связанные с изготовлением (производством), хранением и доставкой товара, выполнением работ, оказанием услуг, приобретением и (или) реализацией товаров (работ, услуг, имущественных прав);

б) расходы на содержание и эксплуатацию, ремонт и техническое обслуживание основных средств и иного имущества, а так же на поддержание их в исправном (актуальном) состоянии;

в) расходы на освоение природных ресурсов;

г) расходы на научные исследования и опытно-конструкторские разработки;

д) расходы на обязательное и добровольное страхование;

е) прочие расходы, связанные с производством и (или) реализацией;

Расходы, связанные с производством и (или) реализацией подразделяются на:

а) материальные расходы;

б) расходы на оплату труда;

в) суммы начисленной амортизации;

г) прочие расходы.

Дополнительно учитываем внереализационные расходы. Это расходы не связанные с производством и реализацией. Они включают в себя обоснованные за-

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Расчет капитальных затрат и амортизационных отчислений в условиях инфляции производят на определенную дату, ту же на которую считается себестоимость и рентабельность.

Для расчета используют формулы:

$$K_{\text{затр}} = K_{\text{затр}}^{\text{пр}} - K_{\text{затр}}^{\text{а}} ;$$

$$K_{\text{затр}}^{\text{пр}} = K_{\text{затр.зд.}}^{\text{пр}} + K_{\text{затр.об.}}^{\text{пр}} ; K_{\text{затр}}^{\text{а}} = K_{\text{затр.зд.}}^{\text{а}} + K_{\text{затр.об.}}^{\text{а}} ,$$

где  $K_{\text{затр}}$  – расчетные капитальные затраты;

$K_{\text{затр}}^{\text{пр}}$  – проектные капитальные затраты;

$K_{\text{затр}}^{\text{а}}$  – капитальные затраты аналога.

Удельные капитальные вложения определяются отношением капитальных затрат к мощности объекта. В современных условиях основным источником покрытия затрат, связанных с обновлением основных фондов являются собственные средства организаций. Они накапливаются в течение всего срока службы основных фондов в виде амортизационных отчислений. Сумма амортизационных отчислений зависит от стоимости основных фондов, времени их эксплуатации, затрат на модернизацию. Расчет амортизационных отчислений проводится линейным и нелинейным методом.

Результаты расчета сведены в таблицу 7.7 (см. далее).

## 7.5 Прибыль

Различают балансовую (валовую) и чистую (остаточную) прибыль.

Балансовая прибыль определяется по формуле:

$$\Pi_{\text{б}} = \Pi_{\text{рн}} + \Pi_{\text{рмц}} + \Pi_{\text{во}}$$

где  $\Pi_{\text{рн}}$  – прибыль от реализации продукции (работ, услуг);

$\Pi_{\text{рн}} = В - С$  (здесь  $В$  – выручка от реализации продукции (работ, услуг);  $С$  – затраты на производство и реализацию продукции (работ, услуг);

$\Pi_{\text{рмц}}$  – прибыль от реализации иных материальных ценностей;

$\Pi_{\text{во}}$  – доходы от внереализационных операций, уменьшенные на сумму расходов по этим операциям.

Изм.	Лист	№ докum.	Подп.	Дата

$$НП_6 = \frac{П_6}{ОП_ч} = 755\,765\,324,16 / 447\,000,00 = 1\,690,75 \text{ руб/руб.}$$

Простая норма прибыли:

$$НП = \frac{П_6}{В} = 755\,765\,324,16 / 4\,295\,670\,000,00 = 17,59\%,$$

где  $П_6$  – балансовая (валовая) прибыль;

$ОП_ч$  – чистый объем продаж;

Величина обратная эффективности называется сроком окупаемости капитальных вложений и определяется по формуле:

$$T = 1/E_n = \frac{\Delta П}{K_{пр} - K_{ан}} = \frac{1\,033\,000,00}{1\,068\,330,00} = 0,97.$$

### 7.7 Сводные показатели эффективности проектного решения

Основными показателями экономической эффективности являются: простая норма прибыли, минимальный оборот для сохранения ликвидности (точка безубыточности), удельные производственные издержки (производственная себестоимость единицы продукции), удельные инвестиционные издержки по реализации проекта.

Результаты расчета представлены в таблице 7.7.

Таблица 7.7 – Сводная таблица основных экономических показателей

Наименование показателя	Ед. изм.	Значение		Изменение	
		По аналогу	Проектное	абсолютное	отн.
1. Годовой выпуск продукции	т.	447 000,00	447 000,00	0,00	0,0000%
	руб.	4 295 670 000,00	4 295 670 000,00	0,00	0,0000%
2. Капитальные вложения	руб.	803 829 000,00	804 862 000,00	1 033 000,00	0,1283%
3. Удельные капитальные вложения	руб./т	1 798,28	1 800,59	2,31	0,1283%
4. Численность персонала	чел.	62,00	62,00	0,00	0,0000%
5. Средняя заработная плата	руб./чел.	33 152,40	33 152,40	0,00	0,0000%
6. Производительность труда	т/чел.	7 209,68	7 209,68	0,00	0,0000%
7. Себестоимость на единицу	руб.	7 921,64	7 919,25	-2,39	-0,0302%
на весь выпуск	руб.	3 540 973 005,84	3 539 904 675,84	-1 068 330,00	-0,0302%
8. Оптовая цена реализации	руб.	9 610,00	9 610,00	0,00	0,0000%
9. Прибыль на единицу	руб.	1 688,36	1 690,75	2,39	0,1414%
на весь выпуск	руб.	754 696 994,16	755 765 324,16	1 068 330,00	0,1414%
10. Рентабельность продукции		21,31%	21,35%	0,04%	0,1715%
производственных фондов		93,89%	93,90%	0,01%	0,0130%
11. Срок окупаемости капитальных вложений	год		0,967		
12. Фондоотдача	руб./руб.	5,344	5,337	-0,007	-0,1285%
13. Годовой экономический эффект	руб.		1 068 330,00		

## 7.9 Заключение об экономической эффективности

При проектировании оборудования был реализован ряд технологических и конструкционных решений (увеличение поверхности теплообмена утилизионного теплообменника), которые обусловили снижение себестоимости производства на 0,0302%, за счет сокращения расходов. Общий прирост прибыли составил 1 068 330,00 рублей в год. Срок окупаемости капитальных вложений 0,97 года. При этом учтены убытки, понесенные производством период технического перевооружения. Рентабельность продукции составляет 21,35%. Годовой экономический эффект 1 068 330,00 руб. Безубыточный объем производства составляет 320190 т.

					vector-study.ru	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		100



## Список использованных источников

1. Кутепов А. М., Бондарева Т. И., Беренгартен Н. Г., Общая химическая технология, изд. 2-е, перераб. и доп., М.: «Высшая школа», 1990. – 522 с.
2. Скобло А. И., Молоканов Ю. К., Владимиров А. И., Щелкунов В. А. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии. Учебник для вузов. – 3-е изд., переаб. и доп. – М.: ООО «Недрабизнесцентр», 2000. – 677 с. ил.
3. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / под ред. Ю. И. Дытнерского. – М.: Химия, 1983. – 272 с.
4. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии, М.: Химия, 1970. – 624 с.
5. Плановский А. Н., Рамм В. М., Соломон З. К. Процессы и аппараты химической технологии, М.: Химия, 1967. – 848 с.
6. Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования. Справочник. – Калуга: Изд. Н. Бочкаревой, 2002. Т.1, 852 с., т.2, 1028 с., т.3, 968 с.
7. Лацинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры.– М.: Машиностроение, 1970. – 752 с.
8. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи / под ред. М.Ф. Михалева.– Л.: Машиностроение, 1984. – 301 с.
9. Бакиев А.В. Технология аппаратостроения. – Уфа.: УГНТУ, 1995.-297 с.
10. Киселев Г.Ф. и др. Система технического обслуживания и ремонта технологического оборудования предприятий по производству минеральных удобрений. Справочник. – М.: Химия, 1991. – 384 с.
11. Афонин, А.М. Теоретические основы разработки и моделирования систем автоматизации: Учебное пособие / А.М. Афонин, Ю.Н. Царегородцев, А.М. Петрова, Ю.Е. Ефремова. - М.: Форум, 2010. - 192 с.
12. Кангин, В.В. Промышленные контроллеры в системах автоматизации технологических процессов: Учебное пособие / В.В. Кангин. - Ст. Оскол: ТНТ, 2012. - 408 с.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата