



## 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 энтропий 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.

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.

Аммиак – ключевой продукт различных азотсодержащих веществ, применяемых в промышленности и сельском хозяйстве. Д. Н. Прянишников назвал аммиак «альфой и омегой» в обмене азотистых веществ у растений. Аммиак получают из различных видов сырья, одним из них является природный газ [1].

Перед конверсией природного газа он подвергается очистке от сернистых соединений, например, в адсорберах. Процесс обладает хорошей эффективностью при температуре около 400 °С. Для нагрева природного газа до указанной температуры используется трубчатая печь.

Тема дипломного проекта посвящена проектированию трубчатой печи, работающей в составе блока сероочистки агрегата синтеза аммиака.

		N				4

абсорбентах оставшихся в газе сернистых соединений. При установлении допустимого содержания серы в перерабатываемом газе ориентируются на катализаторы трубчатой конверсии природного газа и низкотемпературной конверсии оксида углерода.

Сернистые соединения вызывают также коррозию аппаратуры, поэтому стадия сероочистки обычно предшествует всем технологическим стадиям.

При производстве аммиака основным источником загрязнения технологического газа сернистыми соединениями является природный газ. Количество сернистых соединений не должно превышать в сумме  $56 \text{ мг/м}^3$ . В тех случаях, когда природный газ не содержит сернистых соединений, то их искусственно вводят в газ, чтобы придать ему специфический запах.

Возможно попадание сернистых соединений в технологический газ из воздуха, который используется на стадии шахтной конверсии метана, если неправильно выбрана точка воздухозабора, а на предприятии имеет место загрязнение окружающей среды. Состав этих соединений серы зависит от конкретных условий работы на каждом предприятии.

Природный газ отечественных месторождений обычно содержит сероводород, меркаптаны, сульфиды и дисульфиды, иногда серооксид углерода. Сульфиды и дисульфиды достаточно легко образуются из меркаптанов, например при транспортировании газа по трубопроводам.

До недавнего времени использовали природный газ отечественных месторождений, который содержал лишь  $1\text{--}2 \text{ мг/м}^3$  сероводорода. После введения в него этилмеркаптана содержание сернистых соединений не превышало  $20\text{--}30 \text{ мг/м}^3$ . На такое содержание серы в газе и рассчитаны установки сероочистки в крупных агрегатах [1].

С вводом в действие Оренбургского газового месторождения количество серы в газе значительно возросло. На ряде заводов оно составляло  $100\text{--}200 \text{ мг/м}^3$ , а иногда достигало  $800 \text{ мг S/м}^3$ .

### 1.3 Основные методы сероочистки природного газа

Легко удаляющиеся из газов сернистые соединения (меркаптаны, сероводород, оксид-сульфид углерода) можно практически полностью удалить с помощью

		N				6

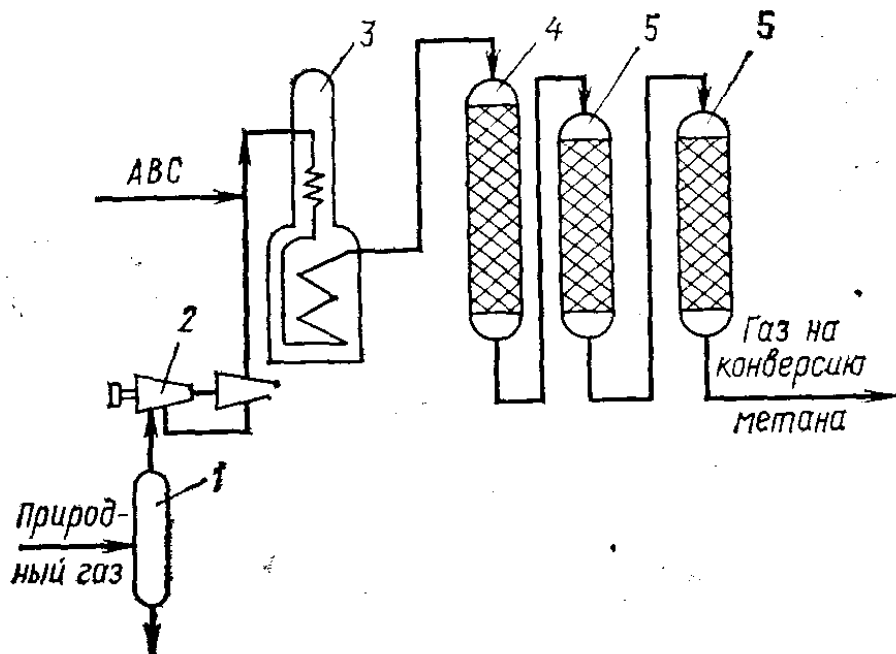


Рисунок 1.2 – Схема двухступенчатой сероочистки природного газа

На сероочистку природный газ поступает после второй ступени компрессора. К сжатому газу с температурой около  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  примешивают синтез-газ, отбираемый со всасывания II-ой ступени компрессора синтез-газа. Содержание водорода в смеси составляет 0,125 молей на моль природного газа или 10% (объемн.). Газовая смесь направляется в змеевики огневого подогревателя 3, где нагревается до  $370\text{--}400\text{ }^{\circ}\text{C}$  за счет тепла сжигания топливного газа в специальных горелках. Наличие такого подогревателя позволяет осуществить пуск и налаживание работы узла сероочистки независимо от работы всей системы.

Нагретый газ поступает в контактный аппарат 4, в котором на алюмокобальтмолибденовом или алюмоникельмолибденовом катализаторе при  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  и объемной скорости  $1000\text{--}2000\text{ ч}^{-1}$  проходит гидрирование сероорганических соединений, образуется сероводород. Свежий катализатор поглощает сероводород, т. е. происходит его сульфидирование, количество поглощенной серы соответствует термодинамическому равновесию, на практике это составляет 4–6% массы серы от массы катализатора. Содержание сернистых соединений в газе после очистки для нового или регенерированного катализатора минимально, потом, по мере насыщения поглотителя, постепенно увеличивается. При изменении

## 1.4 Аппаратурное оформление процесса сероочистки

Процесс сероочистки эффективно обладает хорошей эффективностью при 350–400 °С. Поэтому природный газ перед очисткой нагревают до указанной температуры. Наибольшее распространение нашли способы нагревания в трубчатых печах.

Трубчатые печи различаются по давлению, типу трубчатых экранов, форме топочных камер, способу обогрева, расположению камер конвективного подогрева исходных потоков и т. д. В промышленной практике распространены следующие типы трубчатых печей: многорядная, террасная двухъярусная, многоярусная с внутренними перегородками, с панельными горелками. В современных производствах синтетического аммиака и метанола чаще всего применяют прямоточные многорядные трубчатые печи с верхним пламенным обогревом.

В промышленности применяется большое число различных конструкций и типоразмеров трубчатых печей. При выборе печи в основном следует учитывать вид топлива (газовое или комбинированное); требование технологического процесса к расположению труб камеры радиации (горизонтальное или вертикальное); необходимость дифференциального подвода тепла к трубам камеры радиации; количество регулируемых потоков; время пребывания продукта в печи или камере радиации [2].

### 1.4.1 Печи типа ГС

Печи типа ГС – коробчатые с верхним отводом дымовых газов, горизонтальным расположением труб в радиантной и конвекционной камерах и свободного вертикального сжигания комбинированного топлива. Внешний вид печи изображен на рисунке 1.3.

Горелки расположены в один ряд в поду печи. Обслуживание горелок производится с одной стороны печи, что позволяет устанавливать рядом две камеры радиации (печи типа ГС2). Печи типа ГС применяются на установках атмосферной и вакуумной перегонки нефти, для подогрева различных газообразных и жидких веществ.

Конструкция печи типа ГС2 показана на рисунке 1.4.

		N				10

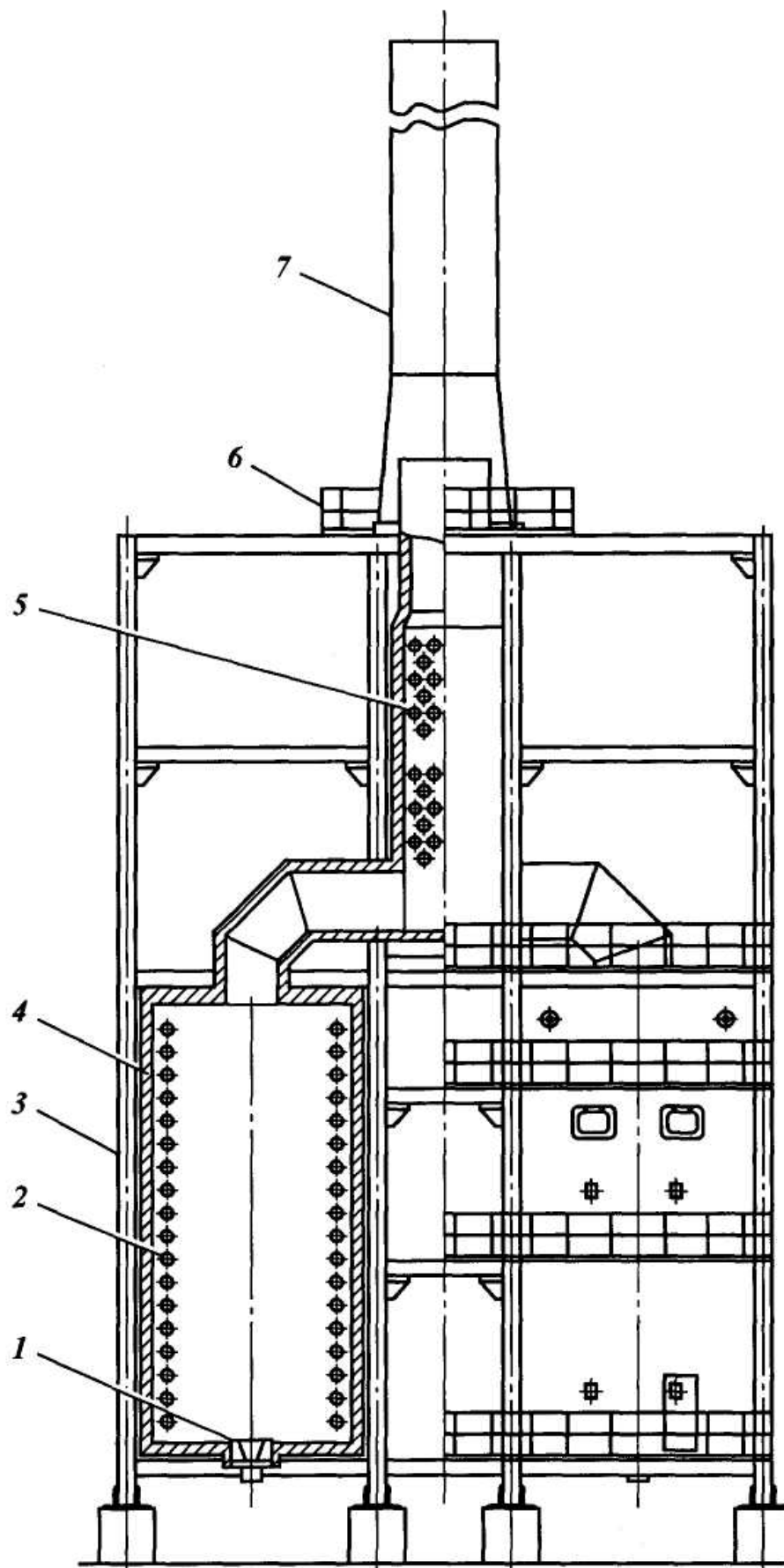


Рисунок 1.4 – Конструкция трубчатой печи типа ГС2:

1 – горелка; 2 – змеевик радиантных труб; 3 – каркас; 4 – футеровка; 5 – змеевик конвекционных труб; 6 – лестничная площадка; 7 – дымовая труба


% общего количества тепла, воспринимаемого этими трубами. Передача тепла излучением от газов составляет 20 – 30 %; излучением стенок кладки конвекционной камеры передается в среднем около 10 % тепла.

Основным фактором, предопределяющим эффективность передачи тепла конвекцией, является скорость движения дымовых газов, поэтому при конструировании трубчатых печей стремятся обеспечить ее наибольшее значение. Это достигается размещением минимального числа труб в одном горизонтальном ряду и выбором минимального расстояния между осями труб. Однако при повышении скорости дымовых газов в камере конвекции увеличивается сопротивление потоку газов, что и ограничивает выбор величины скорости. С другой стороны, сокращение числа труб в одном горизонтальном ряду приводит к увеличению высоты камеры конвекции. Это обстоятельство также предопределяет выбор допустимой скорости движения дымовых газов в камере конвекции.

Существенным фактором, влияющим на эффективность передачи тепла, является способ размещения труб в камере конвекции. При расположении труб в шахматном порядке в связи с более интенсивной турбулентностью потока дымовых газов и лучшей обтекаемостью ими труб тепло передается эффективнее, чем при расположении коридорным способом. При одинаковой скорости движения дымовых газов шахматное расположение труб обеспечивает по сравнению с коридорным более эффективную (на 20 – 30 %) передачу тепла.

На основе анализа принимаем двухступенчатую схему сероочистки, используемую в крупнотоннажных агрегатах производства аммиака в установке конверсии природного газа.

Для подогрева природного газа принимаем конструкцию печи типа ГС2.

		N				14

очистке от сернистых соединений: в реакторе 3 на алюмокобальтмолибденовом катализаторе проводится гидрирование сераорганических соединений до сероводорода, а затем в адсорбере 4 сероводород поглощается сорбентом на основе оксида цинка. Обычно устанавливают два адсорбера, соединенные последовательно или параллельно. Один из них может отключаться на загрузку свежего сорбента. Содержание  $H_2S$  в очищенном газе не должно превышать  $0,5 \text{ мг/м}^3$  газа.

Очищенный газ смешивается с водяным паром в отношении 1:3,7 и полученная парогазовая смесь поступает в конвекционную зону трубчатой печи 12. В радиационной камере печи размещены трубы, заполненные катализатором конверсии метана, и горелки, в которых сжигается природный или горючий газ. Полученные в горелках дымовые газы обогревают трубы с катализатором, затем теплота этих газов дополнительно рекуперируется в конвекционной камере, где размещены подогреватели парогазовой и паровоздушной смеси, перегреватель пара высокого давления, подогреватели питательной воды высокого давления и природного газа.

Парогазовая смесь нагревается в подогревателе 10 до  $525 \text{ }^\circ\text{C}$  и затем под давлением  $3,7 \text{ МПа}$  распределяется сверху вниз по большому числу параллельно включенных труб, заполненных катализатором. Выходящая из трубчатого реактора парогазовая смесь содержит 9–10%  $CH_4$ . При температуре  $850 \text{ }^\circ\text{C}$  конвертированный газ поступает в конвертор метана второй ступени 13 – реактор шахтного типа. В верхнюю часть конвертора 13 компрессором 19 подается технологический воздух, нагретый в конвекционной зоне печи до  $480\text{--}500 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Парогазовая и паровоздушная смеси поступают в реактор отдельными потоками в соотношении, требуемом для обеспечения практически полной конверсии метана и получения технологического газа с отношением  $(CO + H_2) : N_2 = 3,05\text{...}3,10$ . Содержание водяного пара соответствует отношению пар : газ =  $0,7 : 1$ . При температуре около  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  газ направляется в котел-утилизатор 14, вырабатывающий пар давлением  $10,5 \text{ МПа}$ . Здесь реакционная смесь охлаждается до  $380\text{--}420 \text{ }^\circ\text{C}$  и идет в конвертор CO первой ступени 15, где на железохромовом катализаторе протекает конверсия основного количества оксида углерода водяным паром.

Выходящая из реактора при температуре  $450 \text{ }^\circ\text{C}$  газовая смесь содержит около 3,6% CO. В паровом котле 16, в котором также вырабатывается пар давлением  $10,5 \text{ МПа}$ , парогазовая смесь охлаждается до  $225 \text{ }^\circ\text{C}$  и подается в конвертор CO

		N				16



Печь содержит две камеры радиации, вдоль стенок которых расположены трубы витых змеевиков 1. Нагрев природного газа происходит только в камере радиации от 130 °С до 420 °С. Ввод и вывод потока газа осуществляется через две распределительные трубы 8.

Для утилизации тепла дымовых газов печь снабжена пароперегревателем 2. Топливо подается снизу через форсунки. Конструкция печи не содержит дымососа, необходимая тяга обеспечивается высотой дымовой трубы 3.

Обе камеры радиации жестко соединены между собой каркасом 4, на котором установлены обслуживающие площадки.

## 2.2 Технологический расчет

### 2.2.1 Исходные данные к расчету

В качестве исходных данных принимаем параметры технологического процесса приведенные в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Исходные данные для расчета трубчатой печи

Наименование параметра	Обозначение	Величина
Расход смеси	G	50 000 кг/ч
Состав смеси (об)	$Y_V$	
CH <sub>4</sub>		0.8435
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>		0.0094
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>		0.0038
N <sub>2</sub>		0.0426
H <sub>2</sub>		0.0993
Ar		0.0004
CO <sub>2</sub>		0.0010
S		остальное
Температура на входе	$t_{\text{ВХ}}$	130 °С
Температура на выходе	$t_{\text{ВЫХ}}$	420 °С
Давление на выходе	$P_{\text{ВЫХ}}$	4,5 МПа
Топливо		природный газ

Мольные массы компонентов газа

$$M_{\text{CH}_4} = 12 + 4 = 16 \text{ кг/кмоль}$$

$$M_{\text{C}_2\text{H}_6} = 12 \times 2 + 6 = 30 \text{ кг/кмоль}$$

$$M_{\text{C}_3\text{H}_8} = 12 \times 3 + 8 = 44 \text{ кг/кмоль}$$

$$M_{\text{C}_4\text{H}_{10}} = 12 \times 4 + 10 = 58 \text{ кг/кмоль}$$

$$M_{\text{CO}_2} = 12 + 16 \times 2 = 44 \text{ кг/кмоль}$$

При сгорании этого газообразного топлива образуются следующие компоненты: двуокись углерода  $\text{CO}_2$ , вода  $\text{H}_2\text{O}$ , кислород  $\text{O}_2$ , азот  $\text{N}_2$ . Мольные массы продуктов сгорания

$$M_{\text{CO}_2} = 44 \text{ кг/кмоль}$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 2 + 16 = 18 \text{ кг/кмоль}$$

$$M_{\text{O}_2} = 16 \times 2 = 32 \text{ кг/кмоль}$$

$$M_{\text{N}_2} = 14 \times 2 = 28 \text{ кг/кмоль}$$

Доля простых сгорающих веществ в топливе [3, стр. 185]

$$X_{\text{C}} := 0.749$$

$$X_{\text{H}} := 0.2392$$

$$X_{\text{O}} := 0.0163$$

Тогда мольная масса топлива

$$M_{\text{T}} = \Sigma (M_i X_{vi}) = \\ = 16 \times 0.8851 + 30 \times 0.0118 + 44 \times 0.0254 + 58 \times 0.0614 + 44 \times 0.0163 = 19.91 \text{ кг/кмоль}$$

Минимальная объемная теплота сгорания [3, стр. 185]

$$Q_{\text{VМИН}} := 37976 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$$

Согласно справочным данным [4] плотность выбранного газообразного топлива при  $P = 0,1013 \text{ МПа}$ ,  $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\rho_{\text{T}} := 0.760 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Тогда минимальная массовая теплота сгорания

$$Q_{\text{GМИН}} := \frac{Q_{\text{VМИН}}}{\rho_{\text{T}}} = \frac{37976}{0.760} = 49968 \text{ кДж/кг}$$

		N				20

Плотность дымовых газов

$$\rho_0 := \frac{\Sigma m}{\Sigma V} = \frac{19.64}{15.87} = 1.238 \text{ кг/м}^3$$

Молярная масса дымовых газов

$$M_0 := \rho_0 \cdot V_M = 1,238 \times 22,4 = 27,73 \text{ кг/кмоль}$$

### 2.2.3 Расчет тепловой нагрузки печи

Потери тепла печью в окружающую среду принимаем равными 4% от минимальной массовой теплоты сгорания [3]

$$q_1 := 0.04 Q_{G\text{мин}} = 0.04 \times 49968 = 1999 \text{ кДж/кг}$$

Принимаем температуру уходящих газов из радиантной камеры печи [3]

$$t_{yx} = 400 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{yx} = t_{yx} + 273\text{K} = 673 \text{ K}$$

Энтальпия газа при такой температуре составит [3, рис. 2,21]

$$q_2 := 9500 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Тогда КПД печи по формуле [3]

$$\eta := 1 - \left( \frac{q_1}{Q_{G\text{мин}}} + \frac{q_2}{Q_{G\text{мин}}} \right) = 1 - \left( \frac{1999}{49968} + \frac{9500}{49968} \right) = 0.770$$

Для определения тепловой нагрузки найдем долю серы в нагреваемом газе.

Сумма долей указанных компонентов

$$\Sigma Y_V = 0.8435 + 0.0094 + 0.0038 + 0.0426 + 0.0993 + 0.0004 + 0.0010 = 1.0000$$

Следовательно, доля сернистых соединений равна 0. Выберем из справочных данных значения теплоемкости при постоянном давлении и плотности [4]

$$c_p := \begin{pmatrix} 2.23 \\ 1.73 \\ 1.87 \\ 1.05 \\ 14.3 \\ 0.53 \\ 0.84 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{K}} \quad V\rho_c := \begin{pmatrix} 0.72 \\ 1.36 \\ 2.02 \\ 1.25 \\ 0.09 \\ 1.78 \\ 1.98 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Объемный расход топлива

$$\frac{B}{\rho_{\Gamma}} = 1671 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

#### 2.2.4 Расчет камеры радиации

Нагрев газа выполняется только в камере радиации, поэтому тепловая нагрузка этой камеры равна полной нагрузке печи

$$Q_p := Q_{\text{пол}} = 13574 \text{ кДж/с}$$

КПД топки

$$\eta_{\Gamma} := 1 - \frac{q_1}{Q_{\text{Гмин}}} = 1 - 1999/49968 = 0.96$$

Энтальпия дымовых газов, покидающих топку

$$q_{\Gamma\text{п}} := Q_{\text{Гмин}} \cdot \eta_{\Gamma} - \frac{Q_p}{B} = 49968 \times 0.96 - 13574 / 0.353 = 9500 \text{ кДж/кг}$$

Температура уходящих газов из камеры радиации

$$T_{\text{yx}} = t_{\text{yx}} + 273 = 400 + 273 = 673 \text{ К}$$

Принимаем теплонапряженность поверхности труб

$$q_p = 60 \text{ кВт/м}^2$$

Тогда требуемая поверхность теплообмена

$$N_p = Q_p / q_p = 13574 / 60 = 226 \text{ м}^2$$

Определим размеры элементов камеры радиации. Схема к расчету показана на рисунке 2.4. Принимаем трубы  $d_{\text{н}} \times s = 102 \times 6$ . Принимаем размеры камеры по осям труб  $A \times B = 3000 \times 3000$  мм. Тогда расчетное число витков труб в каждой радиантной камере составит

$$N_p = \frac{N_p}{2 \pi d_{\text{н}} (2A + 2B)} = \frac{226}{2 \times 3.14 \times 0.102 \times (2 \times 3.0 + 3.0)} = 39 \text{ шт.}$$

Дальнейшие расчеты по определению геометрических размеров камеры радиации относятся к одной камере. Принимаем шаг по осям труб

$$S = 203 \text{ мм}$$

Соответственно высота радиантных камер

$$h_p = N_p S = 39 \times 0.203 = 7.917 \text{ м}$$

Принимаем  $h_p = 8,0$  м

		N				24

Принимаем расстояние от оси трубы до стенки радиантной камеры

$$a := 1.5d_H = 1,5 \times 103 = 0,153 \text{ м}$$

Внутренние размеры камеры радиации

$$A_2 = 3000 + 0.153 = 3153 \text{ мм}$$

$$B_2 = 3000 + 0.153 = 3153 \text{ мм}$$

Принимаем

$$A_2 \times B_2 = 3.16 \times 3.16 \text{ м}$$

Площадь пола печи

$$H_{\Pi} = A_2 B_2 = 3.16 \times 3.16 = 10.0 \text{ м}^2$$

Площадь боковой поверхности печи

$$H_6 = 2(A_2 + B_2) h_p = 2 \times (3,16 + 3,16) \times 8,0 = 101,2 \text{ м}^2$$

Общая внутренняя поверхность камеры радиации

$$\Sigma H := H_{\Pi} + H_6 = 10,0 + 101,2 = 121,2 \text{ м}^2$$

Принимаем толщину футеровки по аналогии с промышленным объектом

$$s_{\Phi} = 150 \text{ мм}$$

Тогда ориентировочные габаритные размеры печи

$$B_{\Pi} = B_2 + 2s_{\Phi} = 3,16 + 2 \times 0,13 = 3,46 \text{ м}$$

Принимаем расстояние между осями камер радиации

$$L = 5,0 \text{ м}$$

Соответственно

$$L_{\Pi} = L + A_2 + 2s_{\Phi} = 5,0 + 3,16 + 2 \times 0,15 = 8,46 \text{ м}$$

Принимаем

$$B_{\Pi} \times L_{\Pi} = 3,5 \times 8,5 \text{ м}$$

### 2.2.5 Расчет лучистого теплообмена в топке

Целью этого расчета является подтверждение правильности выбора теплонапряженности радиантных труб при выбранной температуре дымовых газов, уходящих из камеры радиации.

Расчет проводим по методу Белоконя [3]. Площадь поверхности, на которой расположены трубы

$$H_{\text{пл}} = 2 [(A+d_H) + (B + d_H)] h_p = 2 \times [(3,0 + 0.102) + (3.0 + 0.102)] \times 8.0 = 99,3 \text{ м}^2$$

		N				26

$$\frac{\varepsilon_V}{\psi} = 0.22 + \frac{0.33}{\alpha} = 0.22 + \frac{0.33}{1.1} = 0.520$$

Соответственно

$$H_s = 0.520 \times (0.9 \times 87.4 + 0.315 \times 0.9 \times 22.8) = 44.3 \text{ м}^2$$

Коэффициент теплоотдачи свободной конвекцией от газов к трубам

$$\alpha_K := 2.1 \sqrt[4]{T_{\Pi} - \theta}$$

где  $\theta$  – температура наружной поверхности экранных труб

$$T_{\text{ср}} := \frac{T_{\text{вх}} + T_{\text{вых}}}{2} + 35 = \frac{(130 + 273) + (420 + 273)}{2} + 35 = 548 \text{ К}$$

$T_{\Pi}$  – температура дымовых газов на выходе из камеры радиации

$$T_{\Pi} = T_{\text{yx}} = 673 \text{ К}$$

Соответственно

$$\alpha_K = 2,1 \sqrt[4]{673 - 548} = 6,47 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$$

Температурная поправка к теплопередаче в топке по формуле Белокопя

$$\Delta T := \sqrt[4]{\frac{\alpha_K \cdot H_p \cdot (T_{\text{макс}} - \theta)^4 - \theta^4 \cdot H_s \cdot c_s}{V \cdot C_p + \alpha_K \cdot H_p}}$$

где  $T_{\text{макс}}$  – максимальная температура горения, К;

$c_s$  – постоянная излучения абсолютно черного тела,  $c_s = 5.77 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К})$ ;

$C_p$  – суммарная теплоемкость дымовых газов при  $T_{\Pi} = 673 \text{ К}$ .

Максимальная температура горения определяется по графику [3, рис. 2.21] в зависимости от величины

$$Q_{V_{\text{min}}} h_T = 37976 \times 0,96 = 36437 \text{ кДж/кг}$$

$$T_{\text{макс}} = 2050 \text{ К}$$

Суммарная теплоемкость газов

$$C_p = \frac{q_T}{T_{\Pi} - 273} = \frac{9500}{673 - 273} = 23 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}}$$

Соответственно температурная поправка

$$\Delta T := \sqrt[4]{\frac{\alpha_K \cdot H_p \cdot (T_{\text{макс}} - \theta)^4 - \theta^4 \cdot H_s \cdot c_s}{V \cdot C_p + \alpha_K \cdot H_p}} =$$

		N				28

$G_{\text{дым}}$  – расход дымовых газов

$$G_{\text{дым}} = \Sigma m B = 19,64 \times 1270 = 29942 \text{ кг/ч}$$

Следовательно

$$Q_{\text{пар}} = 29942 \times (9500 - 2500) = 2,096 \times 10^7 \text{ кДж/ч}$$

Определим расход воды. Теплота, необходимая на нагревание воды от 25 °С

$$Q_{\text{вод}} = G_{\text{вод}} (h_{\text{п}110} - H_{\text{в}25})$$

где  $H_{\text{в}25} = 105 \text{ кДж/кг}$  – энтальпия воды при 25 °С [4, табл. LIV];

$h_{\text{п}110} = 2696$  – энтальпия пара при 110 °С [4, табл. LIV]

Принимаем теплотери равными  $\eta_{\text{пот}} = 10\%$  от переданного тепла. Тогда расход полученного пара  $t = 110 \text{ °С}$  составит

$$G_{\text{пар}} = G_{\text{вод}} = \frac{Q_{\text{пар}} (1 - \eta_{\text{пот}})}{h_{\text{п}110} - H_{\text{в}25}} = \frac{2,096 \times 10^7 \times (1 - 0.1)}{2696 - 105} = 7280 \text{ кг/ч} = 2,02 \text{ кг/с}$$

### 2.2.7 Расчет дымовой трубы

Для нормальной работы трубчатой печи необходимо обеспечить подачу воздуха в топочную камеру для горения топлива, движение газов через печь по всему газовому тракту и удаление продуктов сгорания в атмосферу на высоту, достаточную для соблюдения санитарных норм и приемлемую по допустимому загрязнению окружающей среды.

В трубчатых печах эти условия обычно обеспечиваются естественной тягой, создаваемой дымовой трубой. При естественной тяге движущей силой, обуславливающей движение дымовых газов и преодоление гидравлических сопротивлений, является разность давлений слоя атмосферного воздуха и дымовых газов в трубе.

Движущей силой для выхода дымовых газов является разность плотностей дымовых газов и воздуха на высоте, где заканчивается труба.

Принимаем высоту трубы по аналогии с промышленным объектом

$$h_{\text{тр}} = 22 \text{ м}$$

### 2.2.8 Расчет вспомогательного оборудования

Выполним расчет компрессора для сжатия природного газа.

		N				30

Давление при входе на лопатки рабочего колеса

$$p_1 := p_H \cdot \left( \frac{T_1}{T_H} \right)^{\frac{k}{k-1}} = 0.709 \times \left( \frac{317}{318} \right)^{\frac{1.4}{1.4-1}} = 0,701 \text{ МПа}$$

Принимаем величину политропического КПД

$$\eta_{\text{пол}} := 0.82$$

Тогда

$$\sigma := \frac{k}{k-1} \cdot \eta_{\text{пол}} = \frac{1.4}{1.4-1} \times 0.82 = 2.87$$

Показатель политропы сжатия

$$n := \frac{\sigma}{\sigma-1} = \frac{2.87}{2.87-1} = 1.53$$

Температура газа в конце сжатия (без учета промежуточных холодильников)

$$T_K := T_1 \cdot \left( \frac{p_K}{p_1} \right)^{\frac{1}{\sigma}} = 318 \times \left( \frac{4.661}{0.701} \right)^{1/2.87} = 613 \text{ К} = 340 \text{ }^\circ\text{C}$$

Общая степень повышения давления компрессором

$$\varepsilon = \frac{p_K}{p_H} = \frac{4.661}{0.701} = 6.65$$

Такая степень повышения давления не может быть реализована одним рабочим колесом. Ориентировочное число рабочих колес в компрессоре

$$N_K = \frac{\ln(\varepsilon)}{\ln(\varepsilon_1)} = \frac{\ln(6.65)}{\ln(1.2)} = 10$$

где  $\varepsilon_1 = 1.2$  – ориентировочная степень повышения давления одним рабочим колесом.

Обычно в одном корпусе не устанавливают более 6 рабочих колес. Принимаем два корпуса компрессора – корпус низкого давления и корпус высокого давления. Распределение давлений по корпусам выполним по температурам (без учета промежуточных холодильников).

Принимаем повышение температуры по ступеням равными, тогда температура газа, поступающего на вход второго рабочего колеса

		N				32



Для компрессоров рекомендуется промежуточное охлаждение через 2-4 ступени. Принимаем двухсекционный корпус низкого давления с промежуточным охлаждением через 3 ступени (рабочих колеса).

Принимаем повышение температуры по секциям равными, тогда температура газа, выходящего из первой секции в промежуточный холодильник

$$T_2 = \frac{T_1 + T_k}{2} = \frac{318 + 422}{2} = 370 \text{ К} = 97 \text{ °С}$$

Соответственно давление газа на выходе из первой секции

$$p_2 := p_1 \cdot \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{k}{k-1}} = 0.701 \times \left( \frac{370}{318} \right)^{\frac{1.4}{1.4-1}} = 1,203 \text{ МПа}$$

Степень сжатия по ступеням КНД

$$\varepsilon_1 = \frac{p_2}{p_1} = \frac{1,203}{0,701} = 1,72$$

$$\varepsilon_2 = \frac{p_k}{p_2} = \frac{1,920}{1,203} = 1,60$$

Полная работа политропического сжатия

$$L_{\text{пол}} := \sigma \cdot R \cdot (T_k - T_1) = 2,87 \times 480 \times (422 - 318) = 145918 \text{ Дж/кг}$$

Работа политропического сжатия по секциям

$$L_{\text{пол1}} := \sigma \cdot R \cdot (T_2 - T_1) = 2,87 \times 480 \times (370 - 318) = 72959 \text{ Дж/кг}$$

$$L_{\text{пол2}} := \sigma \cdot R \cdot (T_k - T_2) = 2,87 \times 480 \times (422 - 370) = 72959 \text{ Дж/кг}$$

Расчетная степень сжатия первой секции также не может быть реализована одним колесом. Число рабочих колес в первой секции КНД

$$N_k = \frac{\ln(\varepsilon)}{\ln(\varepsilon_1)} = \frac{\ln(1.72)}{\ln(1.2)} = 2,97 = 3$$

*Определение мощности, потребляемой первой ступенью.* Массовый секундный расход газа

$$m_{\text{сек}} := \frac{V_H}{v_H} = 2,13 / 0,2152 = 9,91 \text{ кг/с}$$

Принимаем механический КПД ступени

$$\eta_{\text{мех}} := 0.95$$

		N			

3.1 Конструирование печи

Конструируемая печь приведена на рисунке 3.1.

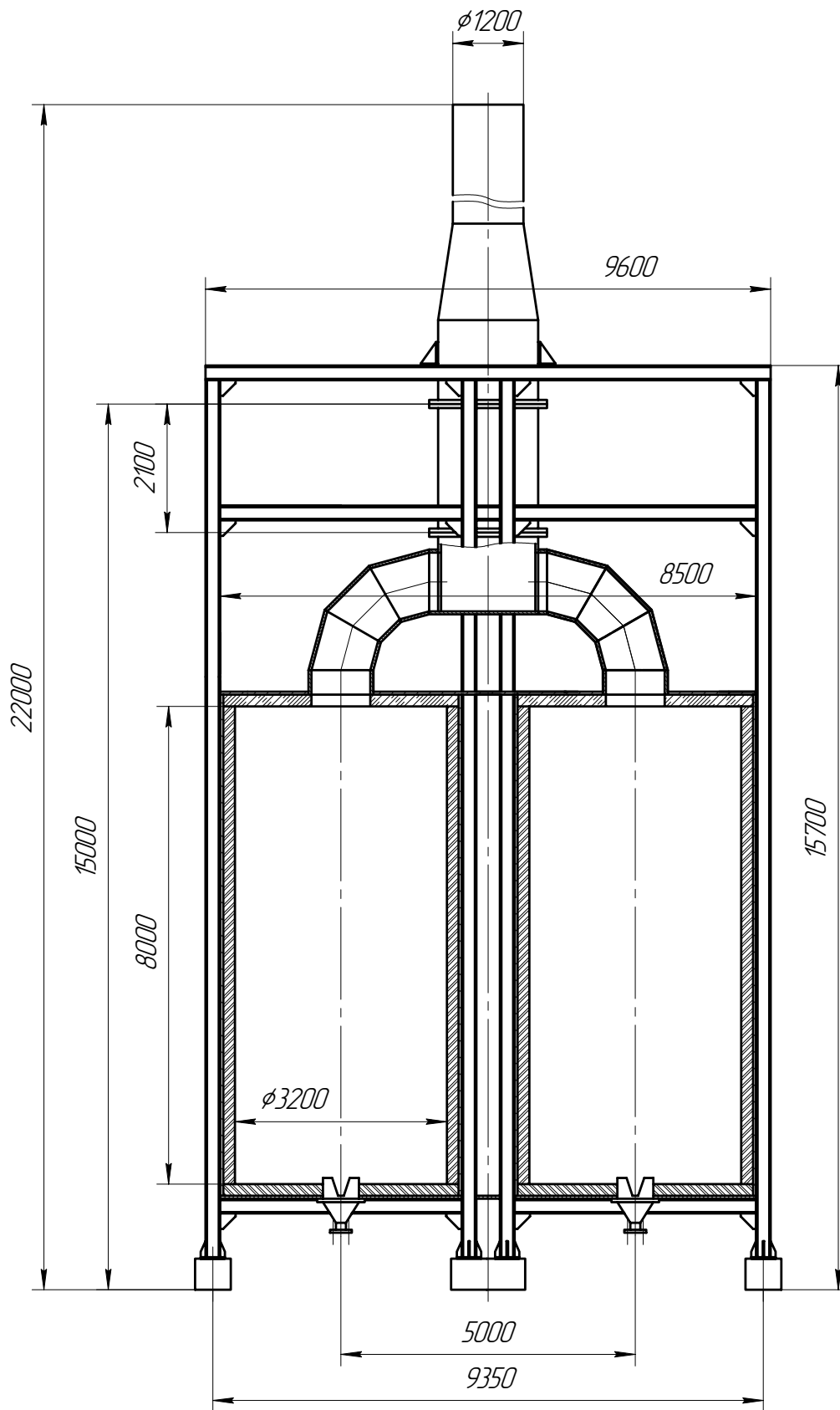


Рисунок 3.1 – Конструируемая печь

		N					

Над пароперегревателем установлена дымовая труба. Поскольку она подвержена действию ветровой нагрузки и, соответственно, ее основание воспринимает большой изгибающий момент, то труба устанавливается на несущие балки фермы и крепится к дымоходу через фланцевое соединение.

Выполним расчет фундамента печи, расчет трубы на ветровую нагрузку и на жесткость, расчет узла установки трубы на несущие балки фермы. Радиантные камеры изнутри футеруются жаропрочным кирпичом [6].

### 3.2 Выбор материала элементов печи

Печь состоит из элементов, работающих при различных условиях.

Для несущих конструкций каркаса принимаем стальной профильный прокат из материала сталь 20.

Трубы печи, в которых происходит нагревание газа, изготавливаем из стали жаропрочной стали X17H13M2T, допускающей работу при температурах до 700 °С и давлении до 10 МПа [7].

Дымовую трубу, подверженную действию температуры до 130 °С и испытывающую нагрузки от ветра, изготавливаем из стали 20К. Для корпуса печи и дымохода выбираем сталь Ст3.

Определим допускаемые напряжения для стали 20К, из которой изготовлена дымовая труба. Характеристики этого материала при 200 °С определяем с использованием справочных данных [7, стр. 97]

$$\sigma_{B20} = 650 \text{ МПа}, \sigma_{B200} = 500 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{T20} = 450 \text{ МПа}, \sigma_{T200} = 350 \text{ МПа}$$

Определим номинальное допускаемое напряжение. Согласно [7, табл. 14.5] расчет для легированной стали необходимо вести по формулам

$$\sigma^* = \min \left\{ \frac{\sigma_B}{n_B}; \frac{\sigma_T}{n_T} \right\}$$

где  $n_B$  – запас прочности по пределу прочности, для стального проката из легированной стали  $n_B = 2,6$  [7, табл. 14.6];

$n_T$  – запас прочности по пределу текучести, для стального проката из легированной стали при давлении в аппарате не более 0,9 МПа  $n_T = 1,5$  [7, табл. 14.6].

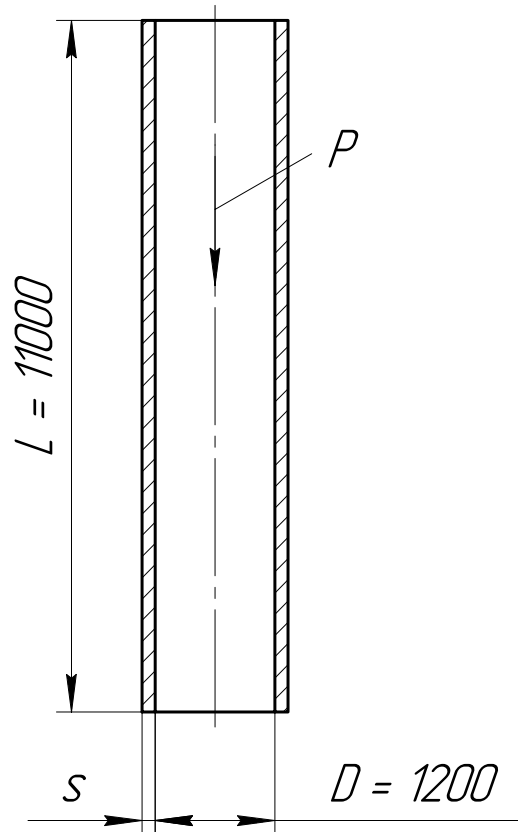


Рисунок 3.3 – Схема к расчету дымовой трубы на устойчивость

где  $s$  – толщина стенки дымовой трубы;

$D$  – внутренний диаметр дымовой трубы;

$\rho$  – плотность материала трубы,  $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$ .

Подставляя значение  $P$  в формулу толщины, получим

$$s = \frac{\pi g \frac{(D + 2s)^2 - D^2}{4} L \rho}{\pi D [\sigma] \varphi}$$

Выразим из этой формулы толщину

$$s = D \left( \frac{\varphi [\sigma]}{L \rho g} - 1 \right)$$

Коэффициент уменьшения допускаемого напряжения при продольном изгибе зависит от материала и величины

$$\lambda = 2.82 \frac{L_n}{D}$$

где  $L_n$  – приведенная расчетная длина центрально сжатого стержня, для жесткой заделки внизу и свободного верха [7, табл. 15.7]

$$L_n = 2L = 11000 \times 2 = 22000 \text{ мм}$$

		N				40

### 3.4.1 Алгоритм расчета

Расчетом на ветровую нагрузку проверяется прочность и устойчивость аппарат, устанавливаемого на открытой площадке, при действии на него ветра. Определяются размеры опоры, фундаментных болтов и материал фундамента.

При расчете аппарат разбивается на некоторое число вертикальных элементов и для каждого определяется действующая на него сила от ветра. Затем рассчитывается момент, воспринимаемый опорой.

Поскольку расчет достаточно трудоемок, выполним его с применением ЭВМ. Далее описывается методика расчета, реализованная в программе MathCAD и дается сводная таблица результатов вычислений. Схема к расчету аппарата приведена на рисунке 3.4.

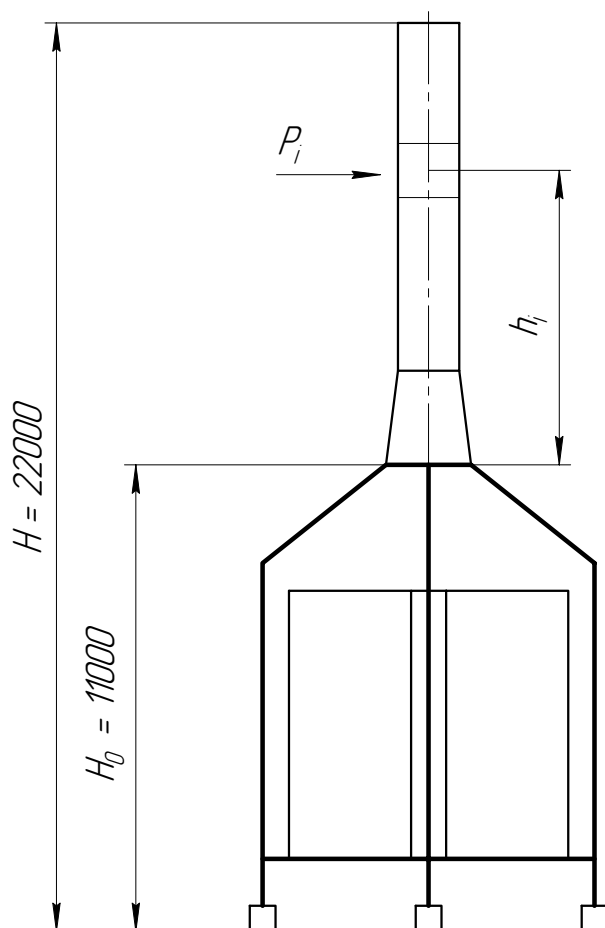


Рисунок 3.4 – Схема к расчету трубы на ветровую нагрузку

Поскольку труба закреплена на высоте  $H_0 = 11$  м, то эту величину необходимо прибавлять к аргументам функции, описывающей пульсации скоростного напора ветра по высоте

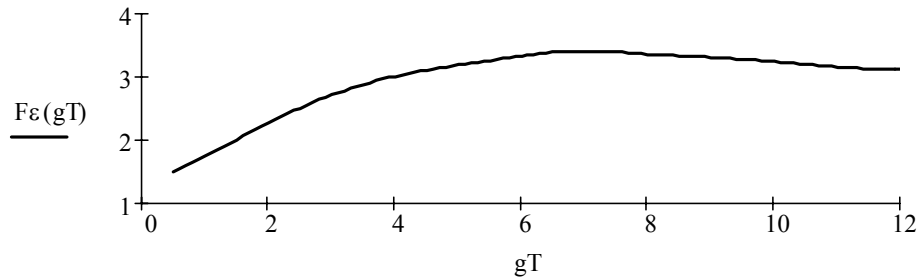
$$vT := (0.5 \ 1.5 \ 2.5 \ 4.0 \ 5.5 \ 7.0 \ 8.0 \ 9.0 \ 11.0 \ 12.0)c^T$$

$$v\varepsilon := (1.50 \ 2.00 \ 2.50 \ 3.00 \ 3.25 \ 3.40 \ 3.35 \ 3.30 \ 3.15 \ 3.10)^T$$

$$v\varepsilon T := cspline(vT, v\varepsilon)$$

$$F\varepsilon(T) := interp(v\varepsilon T, vT, v\varepsilon, T)$$

$$gT := 0.5, 0.6.. 12$$



Коэффициент увеличения скоростного напора

$$\beta_i := 1 + \varepsilon \cdot m(h_i)$$

Сила, действующая на i-й участок аппарата

$$P_i := 0.6 \cdot \beta_i \cdot q \cdot D \cdot h_i$$

Определение изгибающего момента (численное интегрирование интерполированной расчетной величины  $P = f(h)$ )

$$M_B := P \cdot h$$

$$vPh := cspline(h, P)$$

$$FP(hx) := interp(vPh, h, P, hx)$$

$$M_B := \int_0^H FP(h) dh$$

Результаты расчетов по описанному алгоритму сведем в таблицу

Таблица 3.1 – Результаты расчета аппарата на ветровую нагрузку

Параметр	Значение
Момент инерции трубы $J_k, м^4$	$4,19 \times 10^{-3}$
Масса трубы G, МН	0,0694
Период свободных колебаний T, с	7,38
Коэффициент динамичности $\varepsilon$	3,36
Изгибающий момент, действующий на опору, МН×м	4,26

$$\sigma := \frac{G_{\max}}{F} + \frac{M_{\max}}{W} = \frac{0,0694}{0,96} + \frac{4,26}{0,72} = 5,98 \text{ МПа}$$

Проверка устойчивости трубы [8]

$$\sigma_x := \frac{G_{\max}}{F} - \frac{M_{\max}}{W} = \frac{0,0694}{0,96} - \frac{4,26}{0,72} = -5,84 \text{ МПа} < 0 \text{ МПа}$$

Т.к. получено отрицательное значение, то дымовая труба неустойчива, значит необходима ее фиксация крепежными болтами. Нагрузка на болты

$$P_{\text{б}} = M_{\max} / R = 4.26 / 0.75 = 5.68 \text{ МН}$$

Тогда нагрузка на один болт

$$P_{\text{б1}} := \frac{P_{\text{б}}}{z} = 5,68 / 16 = 0.355 \text{ МН}$$

Расчетный диаметр болтов

$$d_{\text{б}} := \sqrt{\frac{4P_{\text{б1}}}{\pi \sigma_{\text{б}}}} + 2\text{мм} = \sqrt{\frac{4 \times 0.355}{3.14 \times 537}} + 0.002 = 0.021 \text{ мм}$$

Принимаем

$$d_{\text{б}} = 22 \text{ мм}$$

### 3.5 Расчет фундамента печи

Нагрузка от веса печи передается через балки фермы на фундамент. Для расчета фундамента определим вес аппарата.

Вес аппарата складывается из веса собственно блока печи и веса дымовой трубы. Корпус состоит из большого числа конструктивных элементов, поэтому массу корпуса принимаем по аналогии с промышленным объектом

$$M_{\text{к}} = 51 \text{ т}$$

$$G_{\text{к}} = M_{\text{к}} g = 51000 \times 9.81 = 500310 \text{ Н} = 0,5003 \text{ МН}$$

Вес дымовой трубы была определена выше

$$G_{\text{д}} = 0,0694 \text{ МН}$$

Тогда вес печи, воспринимаемый фундаментом

$$G = G_{\text{к}} + G_{\text{д}} = 0,5003 + 0,0694 = 0,5697 \text{ МН}$$

Ферма опирается на землю в шести точках, тогда нагрузка на одну опору

$$G_1 = G/6 = 0.5697/6 = 0.095 \text{ МН}$$

		N				46

$$c = c_1 + c_2 + c_3$$

где  $c_1 = \Pi\tau + c_3$  – прибавка для компенсации коррозии и эрозии, мм;

$\Pi$  – скорость коррозии, для выбранного материала  $\Pi = 0,05$  мм/год;

$c_3$  – прибавка для компенсации эрозии,  $c_3 = 0$  мм.

$c_2$  – прибавка для компенсации минусового допуска, мм;

$c_3$  – технологическая прибавка, мм.

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии

$$c_1 = 0,05 \cdot 15 + 0 = 0,75 \text{ мм.}$$

При листовом прокате и сварной обечайке  $c_2 = 0$  мм и  $c_3 = 0$  мм [7, с. 16]. Поэтому

$$c = 0,75 + 0 + 0 = 0,75 \text{ мм.}$$

Прибавку  $c_0$  примем равной 0,35 мм.

Допускаемое давление в рабочем состоянии и при испытаниях [7]

$$[p] = \frac{2\varphi[\sigma](s - c)}{(d_n - 2s) + s - c} = \frac{2 \times 1,0 \times 208 \times (6 - 0,75)}{(102 - 2 \times 6) + 6 - 0,75} = 12,9 \text{ МПа}$$

$$[p]_{\text{и}} = \frac{2\varphi[\sigma]_{\text{и}}(s - c)}{(d_n - 2s) + s - c} = \frac{2 \times 1,0 \times 240 \times (6 - 0,75)}{(102 - 2 \times 6) + 6 - 0,75} = 16,5 \text{ МПа}$$

Следовательно, принятые трубки выдержат технологическое давление и давление при испытании.

Полученные величины, значительно превышающие давление при испытаниях и технологическое давление свидетельствуют о том, что при выборе толщины стенки основным критерием является отсутствие температурных деформаций в трубах.



Согласно выбранной конструкции печи, основными блоками являются (см. рисунок 4.1.): 1) корпус; 2) пароперегреватель; 3) змеевик; 4) дымовая труба; 5) дымоход; 6) пол печи.

Согласно [9] принимаем для установки печи метод монтажного строительства. Для проектируемого оборудования последовательность операций по монтажу печи будет следующей:

- 1) подготовка фундамента;
- 2) установка нижних секций каркаса;
- 3) монтаж пода печи и горелок;
- 4) монтаж корпуса печи;
- 5) монтаж змеевиков;
- 6) футеровка корпуса;
- 7) монтаж дымохода;
- 8) монтаж пароперегревателя;
- 9) монтаж дымовой трубы.
- 10) подключение печи к трубопроводам.

После выполнения указанных операций и испытания оборудования печь может использоваться в производстве.

#### **4.2 Приёмка фундамента под монтаж**

Готовность фундаментов к производству монтажных работ оформляют актом приемки-сдачи, подписанным представителями строительной и монтажной организации и технадзора заказчика.

К акту прилагают составленные строительной организацией исполнительные схемы: а) основных и привязочных размеров, отметок фундамента, расположения фундаментных болтов, шанцев и анкерных колодцев; б) расположения металлических плашек и реперов, заделанных в тело фундамента и фиксирующих его оси и высотные отметки; в) данные о качестве фундамента.

Фундаменты под машины, другое технологическое оборудование и конструкции, устанавливаемые без подливки, сооружают на полную проектную отметку и сдают под монтаж с выровненной поверхностью.

		N				50

где  $N_p$  – количество труб змеевика, из технологического раздела  $N_p = 39$ ;

$A$  и  $B$  – размеры змеевика по осям труб,  $A = B = 3.16$  м

Соответственно

$$G_3 = \frac{3,14 \times (0,102^2 - (0,102 - 2 \times 0,006)^2)}{4} \times 39 \times 2 \times (3,16 + 3,16) \times 7850 = 7125 = 7,1 \text{ т}$$

Массу пароперегревателя примем равной массе стандартного теплообменника с такой же поверхностью теплопередачи и такими же теплообменными трубами

$$G_{п} = 5,5 \text{ т}$$

Элементы каркаса представляют собой стальной прокат, доставляемый на место монтажа в необходимом количестве.

Наибольшей массой обладает корпус печи. Выполним расчет транспортных средств и монтажных приспособлений для корпуса печи.

Предварительно принимаем для транспортирования наиболее тяжелого блока печи пневмоколёсный прицеп-тяжеловоз ЧМЗАП-5212, при транспортировании по сухой грунтовой дороге с максимальным подъёмом 3% и скоростью  $v=2,6$  км/ч; для буксировки прицепа с аппаратом – трактор марки Т-140 мощностью двигателя  $N = 103$  кВт и скоростью  $v=2...20,5$  км/ч.

Суммарное сопротивление движению всего транспорта определяется по формуле:

$$F = 10 \cdot G_T \cdot f_T + 10 \cdot (G_{п} + G_0) \cdot f_{п} + 10 \cdot (G_T + G_{п} + G_0) \cdot f_y$$

где  $G_T = 25$  т – масса тягача;

$f_T = 0,075$  – удельное сопротивление движению тягача;

$G_{п} = 14$  т – масса выбранного для транспортирования оборудования прицепа;

$G_0 = 22$  т – масса транспортируемого блока оборудования;

$f_{п} = 0,05$  – удельное сопротивление движению прицепа;

$f_y = 0,03$  – сопротивление движению от уклона дороги, равное показателю уклона, соответствующему 0,01 на каждый процент уклона (с плюсом при подъёме дороги, с минусом – при спуске).

$$F = 10 \cdot 25 \cdot 0,075 + 10 \cdot (14 + 22) \cdot 0,05 + 10 \cdot (25 + 14 + 51) \cdot 0,03 = 84 \text{ кН}$$

		N				52

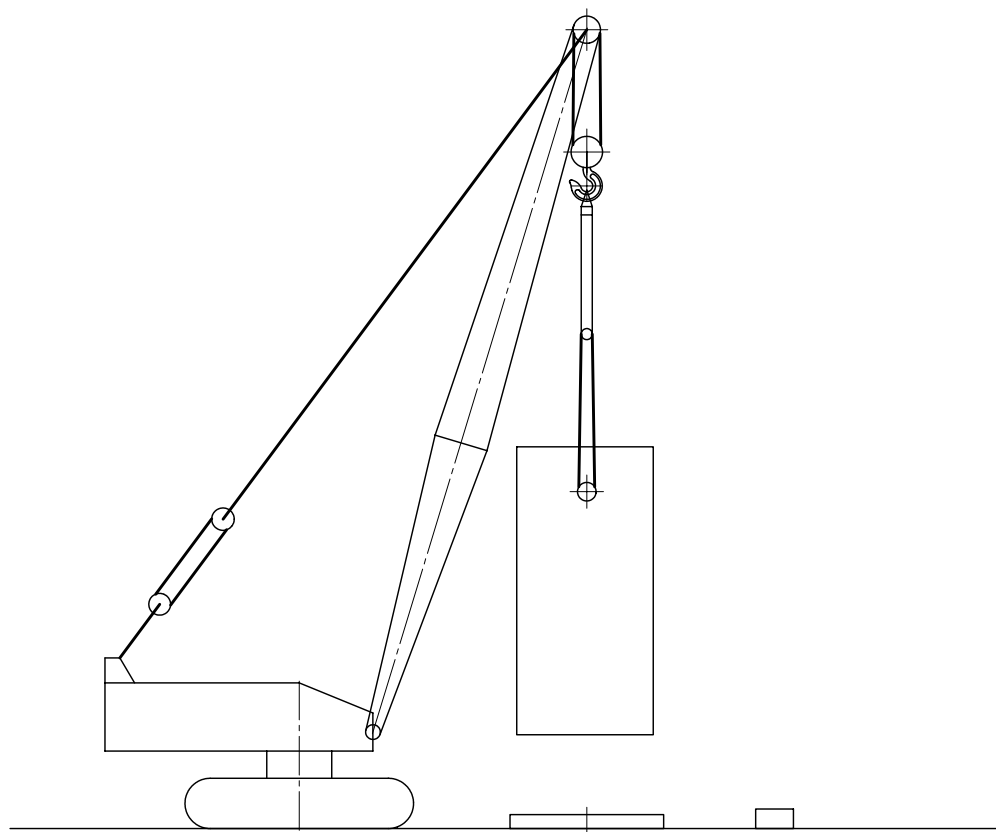


Рисунок 4.2 – Схема монтажа корпуса печи

При подъеме оборудование выкладывается в исходное положение и стропится за вершину. Кран устанавливаются непосредственно у фундамента так, чтобы в процессе подъема и установки оборудования на фундамент вылет крюка был минимальным.

При, окончательной установке оборудования его нижнюю часть плавно опирают на фундамент в проектное положение.

#### 4.5 Выбор крана и расчёт такелажной оснастки

##### 4.5.1 Выбор крана

Требуемая грузоподъёмность монтажного крана определяется по формуле:

$$G_{\text{к.тр}} \geq \frac{G_0}{n_{\text{к}}}$$

где  $G_0 = 51 \text{ т}$  – масса наиболее тяжелого блока печи;

$n_{\text{к}} = 1$  – количество кранов, участвующих в подъёме оборудования.

$$G_{\text{к.тр}} \geq \frac{22}{1} = 22 \text{ т}$$

		N				54

$$F_T = 10 \cdot G_0 \cdot f \cdot \left( 1 + \frac{l_{ц.м}}{l_c} \right)$$

где  $f = 0,02$  – коэффициент трения между тележкой, на которое опирается ре-актор, и рельсовыми путями;

$l_{ц.м} = 12$  м – расстояние до центра массы трубы от ее основания, определяется из чертежа аппарата;

$l_c = h_0 = 22$  м – расстояние от основания трубы до места строповки.

$$F_T = 10 \cdot 22 \cdot 0,02 \cdot \left( 1 + \frac{12}{24} \right) = 2,13 \text{ кН.}$$

По усилию  $F_T$  определяем разрывное усилие в канате по формуле:

$$R_k = F_T \cdot k_3$$

где  $k_3 = 5$  – коэффициент запаса прочности. [9, Приложение XI]

$$R_k = 2,13 \cdot 5 = 10,65 \text{ кН.}$$

Выбираем для лебёдки гибкий канат типа ЛК-РО по ГОСТ 7668-80 конст-рукции 6 х 36 (1 + 7 + 7/7 + 14).

По усилию  $F_T$  выберем электролебёдку типа Л-1001 с тяговым усилием 10 кН. [9, Приложение XVIII]

#### 4.5.3 Выбор и расчёт траверсы

Траверса представляет собой жёсткое грузозахватное приспособление, пред-назначенное для подъёма крупногабаритного оборудования при необходимости строповки его за несколько точек.

Выбираем траверсу, работающую на изгиб, расчётная схема которой приве-дена на рисунке 4.2.

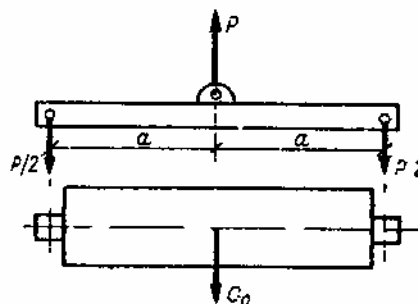


Рисунок 4.3 – Расчётная схема траверсы, работающей на изгиб

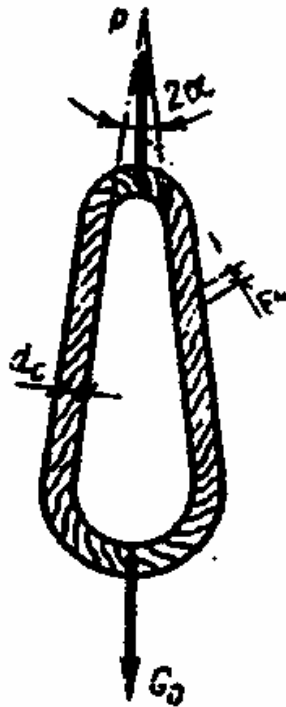


Рисунок 4.4 – Расчётная схема витого канатного стропа

Натяжение в одном витке стропа определяется по формуле:

$$S = \frac{P}{m \cdot n \cdot \cos \alpha}$$

где  $P = 255$  кН – усилие, приложенное к стропу;

$m = 2$  – количество ветвей витого стропа;

$n = 7$  – число канатных витков в сечении одной ветви;

$\alpha = 15^\circ$  – угол между ветвью стропа и направлением усилия  $P$  (рекомендуется  $\leq 30^\circ$ ).

$$S = \frac{255}{2 \cdot 7 \cdot 0,97} = 19 \text{ кН.}$$

Разрывное усилие в одном канатном витке определяется с учётом коэффициента запаса по формуле:

$$R_{\text{н}} = S \cdot k_3$$

где  $k_3 = 5$  – коэффициент запаса прочности. [9, Приложение XI]

$$R_{\text{н}} = 19 \cdot 5 = 95 \text{ кН.}$$

		N				58

медицинской комиссией годными для выполнения данной работы. Участие в приеме экзаменов механика цеха и представителя отдела главного механика предприятия обязательно.

Эксплуатация оборудования должна проводиться в строгом соответствии с требованиями технической документации заводов-изготовителей. При отсутствии заводской техдокументации (паспорта, правила технической эксплуатации, руководства по эксплуатации и др.) последняя разрабатывается непосредственно в цехе для на предприятии. Кроме того, должны разрабатываться и вводиться в действие приказом по предприятию инструкции по эксплуатации, регламентирующие безотказную работу оборудования на данном предприятии.

Мастер цеха обязан помогать эксплуатационному персоналу совершенствовать производственные навыки по эксплуатации оборудования, предотвращению аварий и предупреждению преждевременного износа [10].

Ответственность за неправильную эксплуатацию оборудования, тем более приведшую к поломкам и авариям, наряду с непосредственными виновниками, несут мастер и начальник цеха (участка).

#### 4.6.2 Подготовка к ремонту и ремонт оборудования

Основанием для остановки оборудования на ремонт служит месячный график планово-периодического ремонта. На подготовку и остановку на ремонт крупного технологического оборудования издается приказ по предприятию, в котором указываются: сроки подготовки и ремонта; исполнители работ; ответственные за технику безопасности; ответственные за подготовку оборудования к ремонту; руководители ремонта по объектам (отделениям, участкам, комплексам и т. п.); ответственные (комиссия) за качество и выполнение ремонта в установленные сроки. Подготовка и остановка основного технологического оборудования на ремонт осуществляется по письменному распоряжению начальника цеха, в котором указывается лицо, ответственное за остановку и подготовку оборудования к ремонту.

Вывод в ремонт неосновного оборудования производится на основании записи механика цеха (мастера по ремонту) в журнале начальника (мастера) смены.

		N				60

Подготовка оборудования к ремонту производится эксплуатационным и дежурным ремонтным персоналом технологического цеха. Ответственность за подготовку мест установки заглушек, за их установку и снятие, а также за своевременную запись об этом в журнале несет лицо, ответственное за вывод оборудования в ремонт. После установки заглушек ответственное лицо должно указать их номера на схеме установки заглушек и сделать об этом запись в журнале учета установки и снятия заглушек. Ответственность за качество устанавливаемых заглушек несет механик цеха. Схему на установку заглушек подписывает заместитель начальника цеха. Дежурный ремонтный персонал на подготовительные работы может привлекаться только по письменному распоряжению начальника цеха. Во всех остальных случаях дежурному ремонтному персоналу запрещается самостоятельно проводить установку и снятие технологических заглушек.

Состояние работ по подготовке оборудования к ремонту записывается в журнале приема и сдачи смен. Работы по подготовке к ремонту, не законченные предыдущей сменой, оформляются в журнале приема и сдачи смен ответственным за подготовку и продолжаются следующей сменой. О выполненных подготовительных работах и принятых мерах по технике безопасности ответственное лицо за вывод оборудования в ремонт делает отметку в журнале начальников смен.

Полностью подготовленное к ремонту оборудование сдается лицом, ответственным за вывод оборудования в ремонт, руководителю ремонта (мастеру ремонтно-механического или энергоремонтного цеха, мастеру цеха централизованного ремонта и т. п.). При сдаче оборудования в текущий ремонт запись об этом делается в журнале начальников смен, а в капитальный ремонт — оформляется акт, который подписывает лицо, ответственное за вывод оборудования в ремонт, и руководитель ремонта. Проведение ремонта без оформления акта на сдачу оборудования в ремонт допускается только в тех случаях, когда ремонт осуществляется собственным ремонтным персоналом технологического цеха, в котором установлено данное оборудование. В этом случае запись о сдаче оборудования в капитальный ремонт делается в журнале начальников смен.

		N				62

Основными возмущающими воздействиями для печи является изменение температуры или расхода исходной смеси, поступающей в печь.

Процесс нагрева природного газа не обладает большой скоростью изменения режимных параметров, поэтому нет необходимости в быстрой передаче сигнала. В связи с этим выбрана пневматическая система передачи сигнала на расстояние, более дешевая по сравнению с электрической. Схема автоматизации реализована с помощью приборов пневматической ветви государственной системы, которые обеспечивают необходимую точность и достаточную дальность передачи сигнала (до 300 м).

При нормальном протекании процесса нагрева природного газа необходимо поддерживать постоянную температуру смеси, выходящей из печи, она составляет  $T = 400 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , этого можно достигнуть, контролируя расход топлива на форсунки печи.

Расход исходной подогреваемого природного газа смеси не является параметром контроля и регулирования так как газ поступает в печь с другой установки (с компрессора).

Температура и расход исходной природного газа и расход топлива фиксируются приборами для последующего анализа в случае возникновения сбоев в работе установки.

Температура пара на выходе из пароперегревателя определяет задачу для регулировки расхода воды в пароперегреватель.

Температура газа на выходе из печи определяет задачу для блока регулировки расхода топлива, направляемого в печь. Цель регулирования – поддержание температуры смеси на выходе из печи в строго заданных пределах для обеспечения возможно большей эффективности процесса.

## **5.2 Выбор и обоснование технических средств и систем автоматизации**

Все приборы были выбраны на основании справочных данных, приведенных в [11].

Датчиком для измерения расхода природного газа выбрана камерная диафрагма ДК40-150, создающая перепад давления на трубопроводе. Диафрагма работает в комплекте с дифманометром ДМ-П1, который преобразует перепад дав-

		N				64



Температура в радиантной камере печи, перед пароперегревателем и после него осуществляется с помощью хромель-копелевых термопар ТХК, установленных в аппарате, сигнал передается на многоточечный потенциометр типа КСП4.

Для измерения давления газа использован сильфонный манометр с пневматическим выходным сигналом МС-П2, сигнал от которого воспринимается вторичным пневматическим прибором ПВ2-У2.

Использованные приборы являются унифицированными, что позволяет легко заменить их в случае необходимости. Все использованные приборы занесены в спецификацию (таблица. 5.1).

		N				66

Продолжение таблицы 5.1.

1	2	3	4	5	6	7
1-3			Щит оператора	Вторичный прибор, показывающий, регистрирующий со станцией управления, расход воздуха 420 л/ч	ПВ 10.1Э	«Тизприбор» г. Москва
1-4			Щит оператора	Регулятор системы «СТАРТ», объемный расход воздуха 12 л/мин	ПР 3.26	Завод приборов г. Устькаменогорск
1-5			На трубопроводе	Обратный клапан Ру4,0 Ду200	ПЗ0-К	Завод приборов г. Устькаменогорск
2-1	Температура газа на выходе	450 °С	На трубопроводе	Термопара хромель копельевая с пределом измерения 600 °С	ТХК-60	Приборостроительный завод г. Луцк
2-2			Щит оператора	Милливольтметр, предел измерения 640 мВ	М64	Завод измерительных приборов г. Ереван
2-3			Щит преобразователей	Электропневматический преобразователь с выходным сигналом 0,02 – 0,1 МПа	ЭПП – 63	«Энергоприбор» г. Москва
3-1	Расход воды	3,5 м <sup>3</sup> /ч		см. пункт 1-1		

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3	4	5	6	7
5-1	Температура в камере радиации	600 °С		см. пункт 2-1		
5-2	Температура перед пароперегревателем	200 °С		см. пункт 2-1		
5-3	Температура дымовых газов	130 °С		см. пункт 2-1		
5-4			Щит оператора	Многоточечный потенциометр, количество точек измерения до 6	КСП4	«Электроавтоматика» г. Йошкар - Ола
7-1	Расход нагреваемого газа	1602 м <sup>3</sup> /ч		см. пункт 1-1		
7-2				см. пункт 1-2		
7-3				см. пункт 6-2		
8-1	Температура исходного газа	130 °С		см. пункт 5-1		
8-2			Щит оператора	Милливольтметр, предел измерения 640 мВ	М64-А2	Завод измерительных приборов г. Ереван

Скорость ветра (V) по средним многолетним данным, повторяемость превышения которой составляет 5 %, равна 8-9 м/с. Господствующее направление ветра - восточное, составляет 26%.

Для эффективности реализации результатов проектирования необходимо выполнение следующих требований:

- СНиП 11-89-80\*. Генеральные планы промышленных предприятий.
- СНиП 2.01.01-99. Строительная климатология.
- СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
- СНиП 2.01.15-90. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов.
- СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений.
- СНиП 2.2.4/2.1.8562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

И законов Российской Федерации:

- а) «Об экологической экспертизе».
- б) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
- в) «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний»

### **6.1 Анализ опасных и вредных факторов производства**

При нештатных ситуациях на персонал могут воздействовать:

- природный газ (токсичная и пожаровзрываоопасная среда);
- пар давлением 2,9 : 1,4 : 0,4 МПа температурой до 350°C;
- высокотемпературный пар, конденсата, способные вызывать ожоги незащищенных участков тела;
- повышенный уровень шума, что приводит к увеличению кровяного давления, учащению пульса, дыхания, снижению остроты слуха, ослабления внимания, снижению работоспособности, некоторым нарушения координации движения;
- высокое напряжение 6000, 380, для электрического освещения – 220В;

		N				72

Для предотвращения разрушения оборудования необходимо выполнение требований «Правил устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячего водоснабжения» ПБ 10-573-03.

Для защиты персонала от воздействия опасных и вредных факторов предусмотрены средства индивидуальной защиты.

Для защиты от удара молнией рекомендуется устанавливать молниеотводы на высоком оборудовании. Молниеотвод устанавливаем на дымовой трубе высотой  $h = 23$  м с наружным диаметром 1,2 м.

Молниеотвод состоит из молниеприёмника, воспринимающего удар молнии, токоотвода, соединяющего молниеприёмник с землёй, и заземлителя, отводящего ток линии в землю. Схема к расчёту молниеотвода приведена на рисунке 6.1.

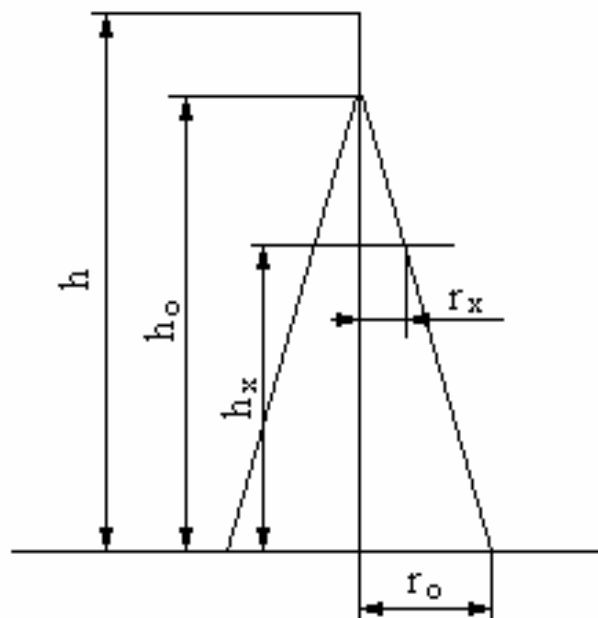


Рисунок 6.1 Схема к расчёту молниеотвода

Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой  $h$  до 150 м представляет собой конус. Вершина конуса находится на высоте зоне защиты над землёй  $h_0 < h$ . На уровне земли зона защиты образует круг радиусом  $r_0$ . Горизонтальное сечение защиты на высоте защищенного сооружения  $h_x$  представляет собой круг радиусом  $r_x$ . Высоту одиночного стержневого молниеотвода определяют по формуле

$$R_{\text{СТО}} = \frac{0.16 \cdot 100}{2.5} \cdot \ln \frac{2 \cdot 2.5}{0.95 \cdot 0.05} + 0.5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 1.95 + 2.5}{4 \cdot 1.95 - 2.5} = 31.94 \text{ Ом}$$

В соответствии с главой 1.7.64 «Правила устройства электроустановок» сопротивление стержней заземления не должно превышать 30 Ом, соответственно один стержень не достаточно. Определим необходимое количество стержней по формуле

$$n_{\text{СТ}} = \frac{R_{\text{СТО}}}{R_{\text{СТ}} \cdot \eta_{\text{СТ}}}$$

где  $R_{\text{С.О}} = 30 \text{ Ом}$  – максимально допустимое сопротивление стержня;

$\eta_{\text{СТ}} = 0.86$  – коэффициент использования стержневых электродов, при расстоянии между ними 5 м. и длине  $L = 2.5 \text{ м}$ .

Тогда

$$n_{\text{СТ}} = \frac{31.94}{30 \cdot 0.86} = 1.2$$

Выбираем ближайшее целое число – 2, то есть заземляющее устройство состоит из двух электродов длиной 2.5 м., зарытых вертикально в грунт на расстоянии друг от друга – 5 метров на глубину 1.95 м. от поверхности земли до середины электрода.

### 6.3 Защита персонала и территории в чрезвычайных ситуациях

В соответствии с законами Российской Федерации: «О гражданской обороне», «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», Постановлением Правительства Российской Федерации «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» необходимо: создание системы подготовки персонала к адекватным действиям в чрезвычайной ситуации, а также материальных и финансовых резервов.

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

Основные задачи гражданской обороны:

1. Защита населения от оружия массового поражения и других средств нападения. Осуществляется проведением комплекса защитных мероприятий. "Г

		N			76

### 7.1 Технико-экономическая характеристика

Экономическая эффективность определена на основе серии последовательно выполненных расчетов показателей (себестоимости продукции, срока окупаемости, прибыли, чистой дисконтированной стоимости дохода, дополнительных капиталовложений и др.).

Оценка эффективности проектных решений осуществлена путем сопоставления стоимостных и натуральных показателей, характеризующих различные варианты решений. К основным стоимостным показателям относятся себестоимость продукции, срок окупаемости, прибыль, чистая дисконтированная стоимость дохода и дополнительные капиталовложения. К натуральным показателям относятся: производительность труда, расход сырья и материалов, топлива и энергии, использование оборудования и производственных площадей и др. Стоимостные показатели дают комплексную оценку экономической эффективности производства аммиака.

### 7.2 Себестоимость продукции

Для расчета себестоимости производства аммиака использованы данные практики и проектных расчетов. Определяется полная себестоимость продукции, предназначенной к реализации. Для выявления резервов снижения себестоимости в дипломном проекте сопоставлена общая сумма и состав затрат по проектируемому оборудованию и аналогу. 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. Для планирования, учета и калькулирования себестоимости продукции использо-

		N				78

- 2) рабочим вспомогательного производства, которые включают 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 заработной платы. Для этого необходимо определить:

- 1) Дневную тарифную ставку, Тс;
- 2) Численность рабочих, Чр;
- 3) Годовой фонд времени (в днях и часах)Фгвр
- 4) Годовой фонд заработной платы по тарифу, который определяется:

$$\text{Фзпг} = \text{Тс} \cdot \text{Чр} \cdot \text{Фгвр}$$

- 5) Премии, П;
- 6) Оплата за работу в ночное время, Он;
- 7) Фонд основной заработной платы, Фзпо, рассчитываемый по формуле

$$\text{Фзпо} = \text{Фзпг} + \text{П} + \text{Он} + \text{Оп}$$

Данные сведены в таблицу 7.1 и таблицу 7.2.

Таблица 7.1 – Расчет годового фонда оплаты труда рабочих

Наименование	Средний разряд	Кол-во рабочих	Средняя часовая тарифная ставка	Баланс рабочего времени	Тарифная заработная плата в месяц	Процент премии	Сумма премии	Оплата за работу в ночное время	Фонд оплаты труда за месяц	Фонд оплаты труда за год
Основные рабочие	4	180	10,13	188	342799	70	239959	119980	702738	8432860
Ремонтный персонал	5	31	12,33	166	63450	70	44415	22208	130073	1560874
Вспомогательные рабочие	4	29	9,85	166	47418	70	33193	16596	97207	1166480
Итого		240			453667	210	317567	158784	930018	11160215

Таблица 7.2 – Расчет годового ФОТ руководителей и специалистов

Наименование	Оклад	Количество работников	Баланс рабочего времени	Средний оклад в месяц	ФОТ за месяц	Процент премии	Сумма премии	Фонд оплаты труда за месяц	Фонд оплаты труда за год
Руководители	4	24	12	5500	132000	70	92400	224400	2692800
Специалисты	5	4	12	4200	16800	70	11760	28560	342720
Служащие	4	3	12	1700	5100	70	3570	8670	104040
Итого		31			153900		107730	261630	3139560

$$З/П_{\text{ср}} = (\text{ФОТр} + \text{ФОТинж}) / \text{КВО} = (930018 + 261630) / 271 = 4397$$

Расчет себестоимости производства азотной кислоты до и после внедрения оборудования произведен в таблице 7.3.

		N								80



С – затраты на производство и реализацию продукции (работ, услуг);

Чистая прибыль определяется путем вычитания из балансовой прибыли налогов, отчислений, штрафов, и других первоочередных платежей.

Прибыль определяется по проектируемому цеху как разница между выручкой от реализации и себестоимостью годового выпуска:

$$B = 580 \times 495400 = 287332000 \text{ руб.}$$

$$C = 465,9 \times 495400 = 230800396 \text{ руб.}$$

$$\Pi = 287332000 - 230800396 = 56531604 \text{ руб.}$$

$$\text{Пед} = \Pi / M = 56531604 / 496400 = 113.8 \text{ руб./т}$$

### 7.6 Расчет эффективности использования основных средств

Основные средства – это средства труда, которые неоднократно участвуют в производственном процессе, сохраняя при этом свою натуральную форму, а их стоимость переносится на производимую продукцию частями по мере снашивания. По принципу вещественно-натурального состава они подразделяются на: здания, сооружения, передаточные устройства, машины и оборудование (рабочие и силовые машины и оборудование, измерительные и регулирующие устройства), транспортные средства, инструмент.

Фондовооруженность труда (W) определяется:

$$W = \frac{\Phi}{N} = 10437000/271 = 38513 \text{ руб/ч}$$

где  $\Phi$  – среднегодовая стоимость основных фондов, руб.;

N - среднегодовая численность ППП, чел.

Фондоотдача:

$$W = \frac{V}{\Phi} = 28733200/10437000 = 27.5 \text{ руб/руб}$$

где V – стоимость произведенной за год продукции в натуральном или стоимостном выражении.

		N				82

$V_2$  – объем выпуска продукции после использования капитальных вложений.

Результаты расчетов сведены в таблицу 7.4.

Таблица 7.4 – Сводная таблица экономических показателей

Наименование показателя	Ед. измерения	По аналогу	Проектное	Отклонения	
				асб	отн
Годовой выпуск продукции	т	495670	496400	730	0,15%
Капитальные вложения	руб.	15170000	14910000	-260000	-1,71%
Удельные капитальные вложения	руб./т	30,61	30,04	-0,57	-1,86%
Численность персонала	чел.	274	271	-3	-1,09%
Средняя заработная плата	руб./чел.	4309	4397	88	2,04%
Производительность труда	т/чел.	1809	1832	23	1,26%
Себестоимость на единицу	руб.	477,6	465,9	-11,7	-2,44%
Себестоимость на весь выпуск	руб.	236709669	231266283	-5443386	-2,30%
Оптовая цена реализации на единицу	руб.	568	568	0	0,00%
Прибыль на единицу	руб.	90,4	102,1	12	12,90%
Прибыль на весь выпуск	руб.	44830891	50688917	5858026	13,07%
Рентабельность		37%	38,8%	2%	5,26%
Срок окупаемости капитальных вложений	год	2,72	2,58	-0,14	-5,00%
Фондоотдача		2,615	2,696	0,081	3,09%
Фондовооруженность		373575	385129	11554	3,09%
Годовой экономический эффект	руб.				

## 7.8 Построение графика

К переменным издержкам относят те, общая сумма которых на годовой выпуск продукции изменяется, тогда как в себестоимости единицы продукции они остаются неизменными. К ним относятся затраты на материальные и топливно-энергетические ресурсы, заработную плату основных рабочих-сдельщиков с отчислениями в соцстрах по проекту 60957920 руб. Удельные переменные издержки

$$ПИ_y = ПИ / ОП = 60957920 / 496400 = 122,8$$

Постоянными (точнее условно-постоянными) называются расходы, общая сумма которых на годовой выпуск продукции не изменяется, тогда как в себестоимости единицы продукции они изменяются в обратной зависимости от изменения объема производства. К этим расходам относят все накладные расходы (не обусловленные технологическим процессом производства), расходы на подготовку и освоение производства, заработная плата с начислениями основных рабочих-повременщиков. Они равны 170308363 руб.

Точка безубыточности (ТБ) – это минимальный объем производства продукции, при котором обеспечивается нулевая прибыль, т. е. доход от продаж равен издержкам производства. Она определяется по формуле:

		N			

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном дипломном проекте была спроектирована трубчатая печь, используемая в производства аммиака в составе блока сероочистки и предназначенная для нагревания природного газа от 130 °С до 420 °С.

В разделе, посвященном обзору и анализу состояния вопроса, выполнен краткий анализ существующих методов сероочистки и приведены конструкции типовых трубчатых печей, используемых при производстве. На основании анализа выбрана технологическая схема и аппарат, в котором выполняется нагрев природного газа – печь типа ГС2.

Технологический раздел посвящен детальному описанию выбранной схемы производства и трубчатой печи. Раздел содержит технологические расчеты по проектируемому аппарату и вспомогательному оборудованию. Определены геометрические размеры аппарата и его составных частей. Выполнен расчет компрессора для сжатия природного газа до давления 4.5 МПа.

Расчетно-конструкторский раздел содержит описание конструкции аппарата и прочностной расчет его основных элементов: трубы, несущей фермы, фундамента.

Специальный раздел описывает выбранный способ монтажа и необходимые расчеты для безопасной установки оборудования на фундамент. Также приведены указания по безопасной эксплуатации оборудования и организации его ремонта.

Раздел, посвященный автоматизации оборудования, описывает используемые средства регулирования и контроля, применяемые в производстве для обеспечения эффективности процесса и его технологичности.

Безопасность и экологичность проекта подтверждается расчетами и указаниями соответствующего раздела. При соблюдении указанных требований гарантируется долговременная и безопасная работа трубчатой печи.

Организационно-экономический раздел содержит расчет величин, показывающих экономическую эффективность проекта.

Спроектированная трубчатая печь удовлетворяет техническому заданию и может быть использована в производстве аммиака в составе блока сероочистки.

		N				86

14. Кукин П.П., Лапин В.Л., Пономарев Н.Л. Безопасность технологических процессов производств (Охрана труда). – М.: Высш. шк., 2001. – 319 с.

15. Тимошенко Н.К., Сандрыкина О.С. Методические рекомендации по выполнению организационно-экономической части дипломного проекта по инженерным специальностям: 250200 «Химическая технология неорганических веществ» 170500 «машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов» 180400 «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов». – Невинномысск: НТИ Сев Кав ГТУ, 2003. – 26 с.

		N				88