

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1 Технологический раздел.....	7
1.1 Описание газотурбинной технологии.....	7
1.2 Описание технологической схемы установки.....	8
1.3 Обзор конструкций оборудования.....	11
1.4 Определение основных размеров оборудования.....	18
1.5 Разработка упрощенной функциональной схемы КИПиА.....	32
2 Расчетно-конструкторский раздел.....	35
2.1 Разработка и описание конструкции ГТУ.....	35
2.2 Выбор материала для изготовления аппарата.....	37
2.3 Расчет элементов аппарата на прочность.....	37
3 Специальный раздел.....	48
3.1 Монтаж технологического оборудования.....	48
3.2 Техническое обслуживание ГТУ.....	57
3.3 Разработка условий на капитальный ремонт оборудования.....	59
4 Экология и безопасность жизнедеятельности.....	62
4.1 Анализ опасных и вредных факторов производства.....	63
4.2 Мероприятия по предотвращению воздействия опасных факторов.....	67
4.3 Защита персонала и территории в чрезвычайных ситуациях.....	73
5 Экономический раздел.....	75
5.1 Обоснование производственной мощности.....	75
5.2 Расчет экономических показателей.....	76
5.3 Сводные показатели эффективности проектного решения.....	81
5.4 Заключение об экономической эффективности.....	82
Заключение.....	83
Список использованных источников.....	84

					vector-study.ru			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Проект ГТУ в производстве азотной кислоты. Пояснительная записка.	Лист	Лист	Листов
Разраб.								
Проверил								
Н.контр.								
Утв.								

1 Технологический раздел

1.1 Описание газотурбинной технологии

Основой ГТУ является газогенератор, служащий источником сжатых горячих продуктов сгорания для привода силовой турбины. Газогенератор состоит из компрессора, камеры сгорания и турбины привода компрессора [2].

В компрессоре сжимается атмосферный воздух, который поступает в камеру сгорания, где в него через форсунки подается топливо (обычно газ), затем происходит сгорание топлива в потоке воздуха. Продукты сгорания подаются на турбину. Мощность, развиваемая турбиной, существенно превышает мощность, потребляемую компрессором на сжатие воздуха, а также преодоление трения в подшипниках и мощность, затрачиваемую на привод вспомогательных агрегатов. Разница между этими величинами представляет собой полезную мощность ГТУ.

Отработанные в газотурбинном приводе газы через выхлопное устройство и шумоглушитель уходят в дымовую трубу. Возможна утилизация тепла выхлопных газов, когда отработанные газы поступают в котел-утилизатор, в котором происходит выработка тепловой энергии в виде пара и/или горячей воды.

Особенностью ГТУ, используемой в цехе производства слабой азотной кислоты Невинномысского Азота является то, с вала установки не снимается полезная нагрузка. Производительность компрессора выше, чем требуется для работы собственно турбины, большая часть воздуха отбирается на технологию. Параметры работы компрессора подобраны таким образом, что давление на выходе из компрессора 0,72 МПа. Проектируемая ГТУ предназначена для замены существующей ГТУ на 0,35 МПа и дожимного компрессора до 0,72 МПа. [1]

Достоинствами газотурбинных установок являются малый удельный вес, компактность, простота транспортировки и легкость монтажа. При эксплуатации газотурбинных установок содержание вредных выбросов NO_x и CO в выхлопных газах у них минимально. Такие отличные экологические качества позволяют без проблем размещать газотурбинные установки в непосредственной близости от проживания людей. Сравнительно небольшие размеры позволяют установить ГТУ в условиях стесненного плана цеха.

					vector-study.ru	Лист
Изм.	Лист	N докцм.	Подп.	Дата		7

Основной поток воздуха после сжатия нагревают в подогревателе воздуха 12 до 250–270 °С теплотой нитрозных газов и подают на смешение с аммиаком в смеситель 6.

Газообразный аммиак, полученный путем испарения жидкого аммиака, после очистки от влаги, масла и катализаторной пыли через подогреватель 5 при температуре 150 °С также направляют в смеситель 6. Смеситель совмещен в одном аппарате с поролитовым фильтром. После очистки аммиачно-воздушную смесь с содержанием NH_3 не более 10% подают в контактный аппарат 14 на конверсию аммиака.

Конверсия аммиака протекает на платинородиевых сетках при температуре 870–900 °С, причем степень конверсии составляет 96%. Нитрозные газы при 890–910 °С поступают в котел-утилизатор 15, расположенный под контактным аппаратом. В котле за счет охлаждения нитрозных газов до 170 °С происходит испарение химически очищенной деаэрированной воды, питающей котел-утилизатор; при этом получают пар с давлением 1,5 МПа и температурой 230 °С, который выдается потребителю.

После котла-утилизатора нитрозные газы поступают в окислитель нитрозных газов 13. Он представляет собой полый аппарат, в верхней части которого установлен фильтр из стекловолна для улавливания платинового катализатора. Частично окисление нитрозных газов происходит уже в котле-утилизаторе (до 40%).

В окислителе 13 степень окисления возрастает до 85%. За счет реакции окисления нитрозные газы нагреваются до 300–335 °С. Эта теплота используется в подогревателе воздуха 12. Охлажденные в теплообменнике 12 нитрозные газы поступают для дальнейшего охлаждения в теплообменник 11, где происходит снижение их температуры до 150 °С и нагрев выхлопных (хвостовых) газов до 110–125 °С. Затем нитрозные газы направляют в холодильник-конденсатор 7, охлаждаемый обратной водой. При этом конденсируются водяные пары и образуется слабая азотная кислота.

Нитрозные газы отделяют от сконденсировавшейся азотной кислоты в сепараторе 8, из которого азотную кислоту направляют в абсорбционную колонну

1.3 Обзор конструкций оборудования

ГТУ конструктивно состоит из турбины и компрессора. Центробежные компрессоры в большинстве случаев имеют несколько ступеней. При небольшой подаче они изготавливаются секционными с разделением ступеней на отдельные секции с разъемом в плоскостях, нормальных к оси машин. [2]

Компрессоры средней и высокой подачи изготавливаются с разъемом корпуса в горизонтальной плоскости аналогично паровым турбинам. В этом случае прямой и обратный направляющий аппараты составляют единое целое с половинами корпуса или же размещаются на диафрагмах, плотно вставленных в корпус. Диафрагмы имеют разъем в горизонтальной плоскости.

Охлаждение корпуса компрессора, желательное с энергетической точки зрения, усложняет конструкцию корпуса. Поэтому компрессоры строят с подразделением ступеней на группы в отдельных корпусах и расположением промежуточных охладителей между корпусами. Таким образом, возможны компрессоры одно-, двух- и трехкорпусные. Промежуточные охладители могут располагаться и между группами ступеней, заключенных в одном корпусе.

На рисунке 1.2 представлен продольный разрез корпуса турбокомпрессора, используется в аналогичном оборудовании цеха. [3]

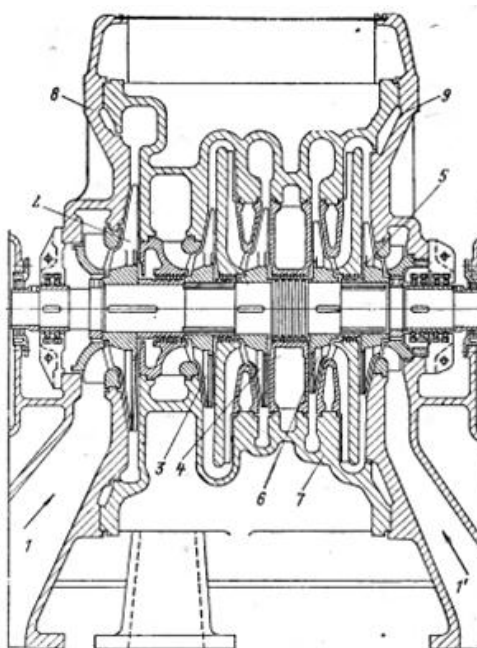


Рисунок 2 –Продольный разрез корпуса турбокомпрессора

1 – патрубок; 2, 3, 4, 5, 6 – колесо; 7 – корпус; 8, 9 – крышка

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

представляет собой ступень компрессора, т.е. секцию, в которой полностью реализуется его принцип действия с соответствующим повышением давления.

Сочетание ступеней в осевом компрессоре осуществляется конструктивно сравнительно просто, поскольку в нем каждая частица воздуха движется по траекториям, почти равноотстоящим от оси компрессора (отсюда компрессоры и получили название осевых). При допустимом уровне гидравлических потерь возможное повышение давления в одной ступени относительно невелико, поэтому компрессоры всегда выполняются многоступенчатыми.

Благодаря сжатию воздуха плотность его в каждой ступени возрастает, и при неизменном массовом расходе, объемный расход воздуха падает. Поскольку осевая скорость движения воздуха в компрессоре изменяется несильно, то это приводит к необходимости уменьшения проходных сечений, поэтому высоты лопаток по ходу движения воздуха уменьшаются.

Принципиально форму проточной части осевых компрессоров в меридиональной плоскости можно разделить на три типа (см. рисунок 1.3): 1) с постоянным наружным диаметром (диаметром корпуса); 2) с постоянным внутренним диаметром (втулочным диаметром); 3) с постоянным средним диаметром. [4]

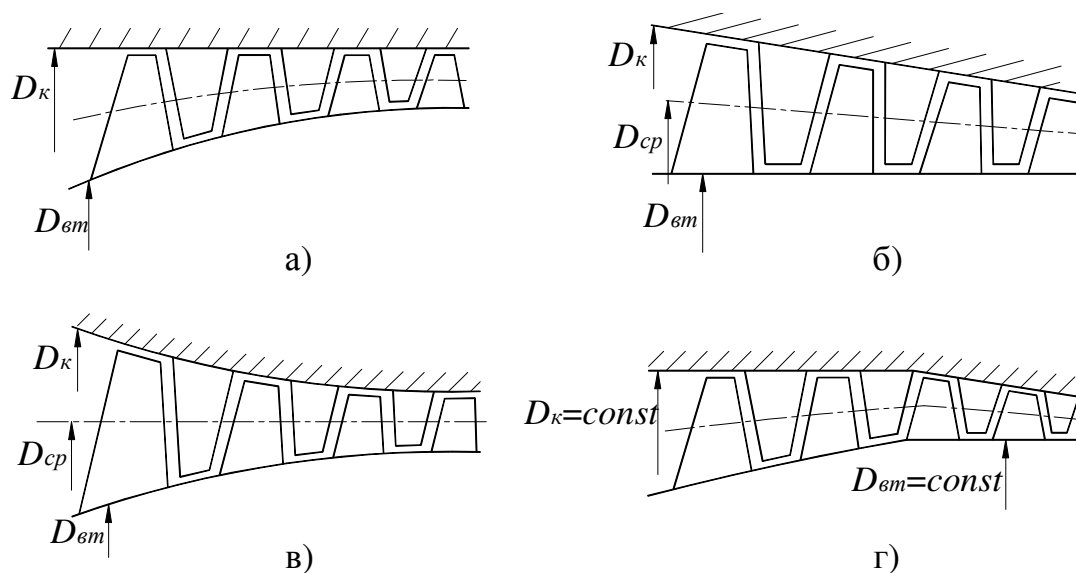


Рисунок 3 – Схемы проточных частей осевых компрессоров:

а) с постоянным диаметром корпуса ($D_k = const$); б) с постоянным диаметром ротора ($D_{вт} = const$); в) с постоянным средним диаметром ($D_{cp} = const$); г) комбинированная

Изм.	Лист	N докum.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

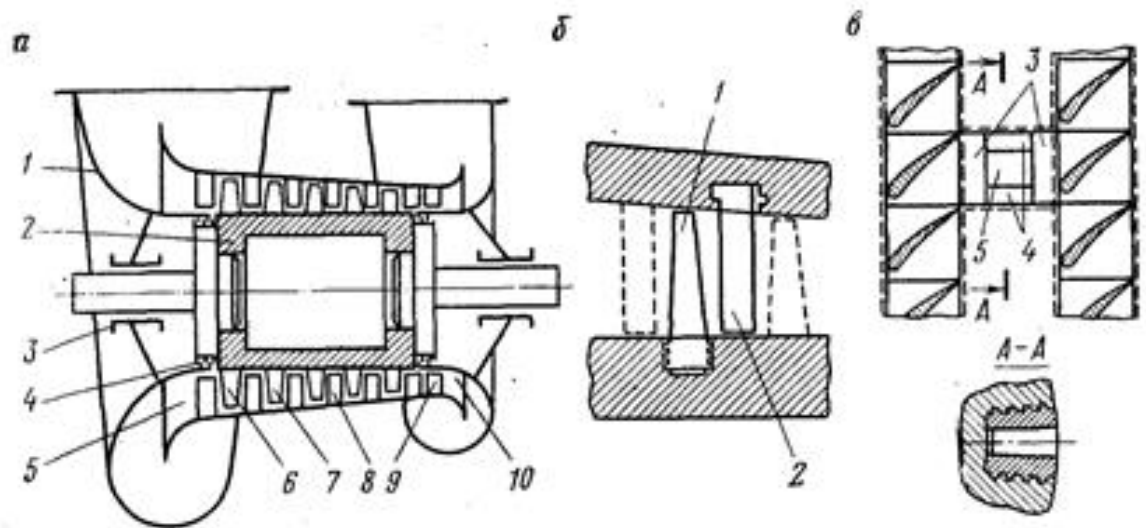


Рисунок 4 – Осевой компрессор

а – схема компрессора; б – ступень; в – замковый паз; 1 – корпус; 2 – ротор; 3 – подшипники; 4 – уплотнения; 5 – входной конфузор; 6 – входной направляющий аппарат; 7 – рабочий венец; 8 – направляющий венец; 9 – спрямляющий аппарат; 10 – выходной диффузор

Высокая эффективность осевых компрессоров (в некоторых машинах КПД превышает 0,91) достигнута применением аэродинамически совершенных лопастных аппаратов.

Устройство ступени показано на рисунке 1.4, б. Лопастей ротора 1 пилообразным хвостом с зубцами заводятся в кольцевую канавку ротора через замковый паз, соединённый с двумя смежными канавками (рисунок 1.4, в). После установки лопастей в замок вставляются последовательно вставки 3, 4 и клин 5.

Лопастей статора 2 вставляются в корпус непосредственно либо крепятся к бандажным лентам, изогнутым в виде полуколец и образующим две половины вставного направляющего аппарата.

Для проектируемого компрессора выбираем схему с постоянным диаметром ротора $D_{\text{вт}} = \text{const}$. ГТУ предназначена для замены двух существующих ступеней 0,1-0,35 МПа и 0,35-0,73 МПа на одну 0,1-0,73 МПа. Конструкция проектируемой газотурбинной установки показана на рисунке 1.5. [4]

атмосферном давлении соответствующим компрессором. Далее воздух сжимается и направляется в камеру сгорания. В нее подается топливо, которое сгорает при постоянном давлении, обеспечивая постоянный подвод тепла. Благодаря сгоранию топлива температура рабочего тела увеличивается.

Далее рабочее тело (теперь это уже газ, представляющей собой смесь воздуха и продуктов сгорания) поступает в газовую турбину, где, расширяясь, совершает полезную работу. После турбины газы сбрасываются в атмосферу, через которую рабочий цикл и замыкается, либо выполняется дополнительная утилизация тепла.

Схема ротора проектируемой ГТУ показана на рисунке 1.6.

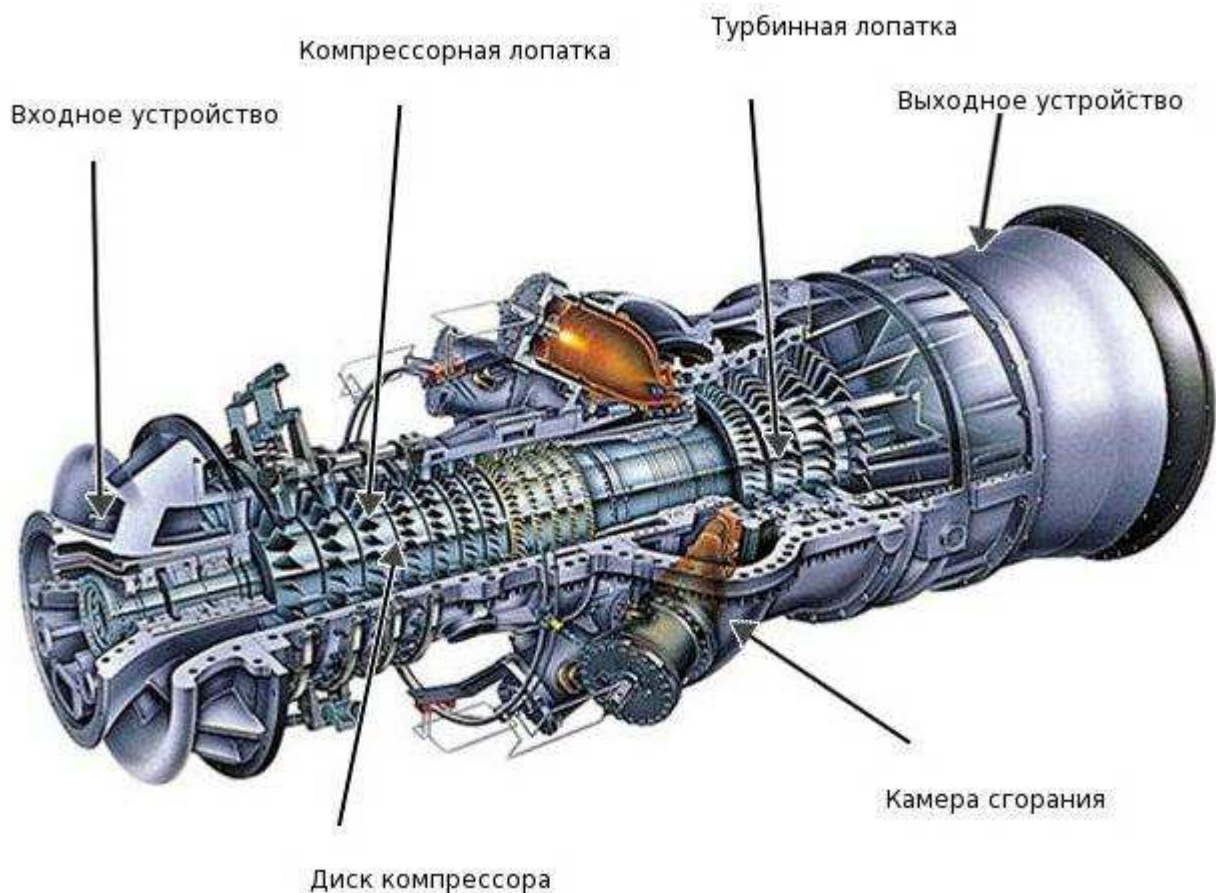


Рисунок 6 – Схема ротора ГТУ

В типовой схеме полезная мощность ГТУ представляет собой разность между работой, затрачиваемой на сжатие атмосферного воздуха и работой турбины. В предлагаемом варианте компрессор сжимает большее количество воздуха, чем необходимо для камеры сгорания. Избыток сжатого газа является полезной нагрузкой установки.

Изм.	Лист	№ докц.	Подп.	Дата

1.4.2 Определение мощности компрессора

Требуемый расход воздуха

$$G = 110 \text{ т/ч} = 30,56 \text{ кг/с.}$$

Осевая скорость на входе в компрессор

$$C_{1a} := c_{1a} \cdot U_k$$

где $c_{1a} = 0,5$ – коэффициент расхода на входе;

$U_k = 350,0 \text{ м/с}$ – окружная скорость колеса;

$$C_{1a} = 0,5 \cdot 350,0 = 175,0 \text{ м/с.}$$

Осевая скорость на выходе из компрессора

$$C_{2a} := c_{2a} \cdot U_k$$

где $c_{2a} = 0,3$ – коэффициент расхода на выходе;

$$C_{2a} = 0,3 \cdot 350,0 = 105,0 \text{ м/с.}$$

Степень повышения давления

$$P_k := \frac{P_k}{P_n} = \frac{0,730}{0,102} = 7,157.$$

Первоначальное значение степени повышения давления проектируемого лопаточного аппарата

$$P_{ла} := \frac{P_k}{\sigma_{вх} \cdot \sigma_{вых}}$$

где $\sigma_{вх} = 0,99$, $\sigma_{вых} = 0,98$ – коэффициенты восстановления полного давления для лопаточного аппарата, подлежат уточнению в дальнейшем;

$$P_{ла} = \frac{7,157}{0,99 \cdot 0,98} = 7,377.$$

Температура заторможенного потока на выходе из компрессора

$$T_{2z} := T_n \cdot P_{ла}^{\frac{k-1}{k \cdot \eta_{пол}}}$$

где $k = 1,4$ – показатель адиабаты воздуха;

$\eta_{пол} = 0,9$ – адиабатный КПД компрессора;

$$\alpha_{2z} = \frac{k-1}{k \eta_{пол}} = \frac{1,4-1}{1,4 \cdot 0,9} = 0,317;$$

Изм.	Лист	N докум.	Подп.	Дата

$$T_1 := T_H - \frac{C_{1a}^2}{2C_p} = 288 - \frac{175,0^2}{2 \cdot 1004,5} = 272,8 \text{ К.}$$

Плотность заторможенного потока на входе в компрессор

$$\rho_H := \frac{P_H \cdot \sigma_{ВХ}}{R \cdot T_H} = \frac{0,102 \cdot 0,99}{287,4 \cdot 288} = 1,220 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{1Z} := \rho_H = 1,220 \text{ кг/м}^3.$$

Плотность газа на входе в компрессор

$$\rho_1 := \rho_{1Z} \cdot \left(\frac{T_1}{T_H} \right)^{\frac{1}{k-1}} = 1,220 \cdot \left(\frac{272,8}{288} \right)^{\frac{1}{1,4-1}} = 1,065 \text{ кг/м}^3.$$

Потеря давления на входе

$$\Delta p_{ВХ} := \xi_{ВХ} \cdot \frac{\rho_1 \cdot C_{1a}^2}{2},$$

где $\xi_{ВХ} = 0,1$ – коэффициент местных сопротивлений входного канала;

$$\Delta p_{ВХ} = 0,1 \cdot \frac{1,065 \cdot 175,0^2}{2} = 1631 \text{ Па.}$$

Уточняем коэффициент восстановления полного давления в выходном патрубке

$$\sigma_{ВХ} := \frac{P_H - \Delta p_{ВХ}}{P_H} = \frac{0,102 - 1631 \cdot 10^{-6}}{0,102} = 0,9840.$$

Фактическая степень повышения давления лопаточного аппарата

$$p'_{ла} := \frac{p_K}{\sigma_{ВХ} \cdot \sigma_{ВЫХ}} = \frac{7,157}{0,9840 \cdot 0,9898} = 7,348.$$

КПД лопаточного аппарата

$$\eta_K := p_{ла}^{\frac{k-1}{k} \cdot \eta_{пол} - 1} = 7,377^{\frac{1,4-1}{1,4 \cdot 0,900} - 1} = 0,256;$$

$$\eta_{ад} := p_{ла}^{\frac{k-1}{k} - 1} = 7,377^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 0,240;$$

Диаметр корпуса на входе

$$D_{1к} := \sqrt{\frac{4F_1}{\pi \cdot (1 - d_{1вт}^2)}}$$

где $d_{1вт} = 0,3$ – относительный диаметр втулки;

$$D_{1к} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,1640}{3,14 \cdot (1 - 0,3^2)}} = 0,479 \text{ м.}$$

Диаметр втулки на входе

$$D_{1вт} := D_{1к} \cdot d_{1вт} = 0,479 \cdot 0,3 = 0,144 \text{ м.}$$

Высота лопатки на входе

$$h_1 := \frac{D_{1к} - D_{1вт}}{2} = \frac{0,479 - 0,144}{2} = 0,168 \text{ м.}$$

Наружный диаметр последней ступени

$$D_{2к} := \sqrt{D_{1вт}^2 + \frac{4F_2}{\pi}} = \sqrt{0,144^2 + \frac{4 \cdot 0,0638}{3,14}} = 0,319 \text{ м.}$$

Диаметр втулки на выходе

$$D_{2вт} := D_{1вт} = 0,144 \text{ м.}$$

Высота лопатки на выходе

$$h_2 := \frac{D_{2к} - D_{2вт}}{2} = \frac{0,319 - 0,144}{2} = 0,088 \text{ м.}$$

1.4.4 Определение числа ступеней и распределение напоров

Расчетное число ступеней

$$z := \frac{A_k}{H_{зстсп} \cdot U_k^2},$$

где $H_{зстсп} = 0,3$ – коэффициент напора для одной ступени;

$$z = \frac{404,0 \cdot 10^3}{0,3 \cdot 350,0} = 10,994$$

Принимаем количество ступеней сжатия

$$z = 12.$$

Изм.	Лист	N докум.	Подп.	Дата

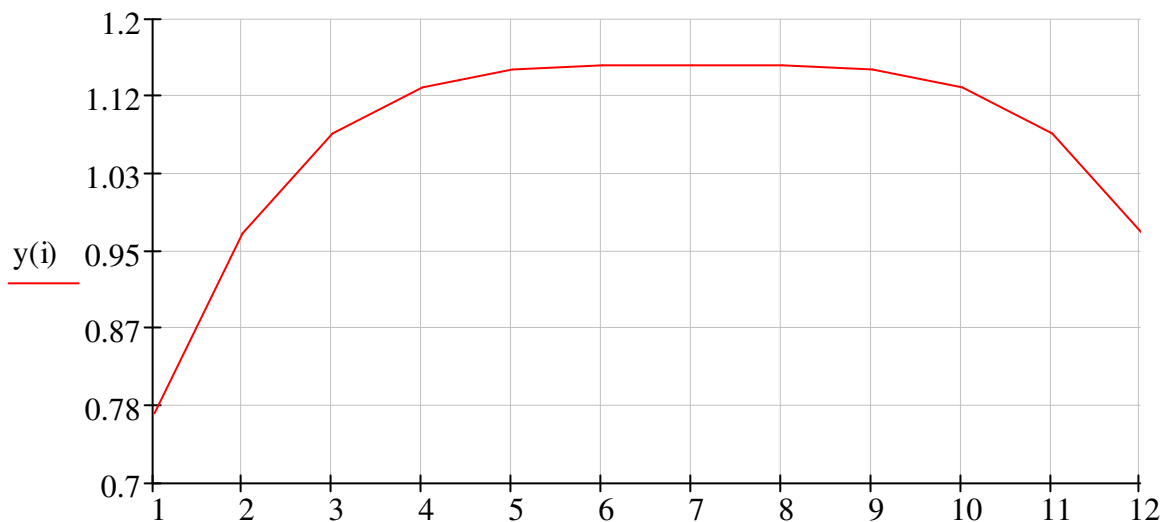


Рисунок 10 – Эффективность работы отдельных ступеней компрессора

Работа по ступеням в виде программы MathCAD [8]

$$H_{z_{ст}_i} := H_{z_{ст}} \cdot y(i); \quad H_{z_1} := A_K \cdot \frac{H_{z_{ст}_i}}{\sum H_{z_{ст}}}; \quad T_1 := \left. \begin{array}{l} T_x \leftarrow T_H \\ \text{for } i \in 0..z-1 \\ \quad T_{1_i} \leftarrow T_x \\ \quad \Delta T_{ст_i} \leftarrow \frac{H_{z_1}}{C_p} \\ \quad \Delta T_{ад_i} \leftarrow \Delta T_{ст_i} \cdot \eta_{ст_i} \\ \quad T_{2_i} \leftarrow T_{1_i} + \Delta T_{ад_i} \\ \quad T_x \leftarrow T_{2_i} \\ \quad p_{ст_i} \leftarrow \left(\frac{T_{2_i}}{T_{1_i}} \right)^{\frac{k}{k-1}} \\ T_1 \end{array} \right\}$$

Изменение температуры ступени

$$\Delta T_{ст_i} := \frac{H_{z_1}}{C_p}$$

Результаты расчетов температуры в графическом виде на рисунке 1.11.

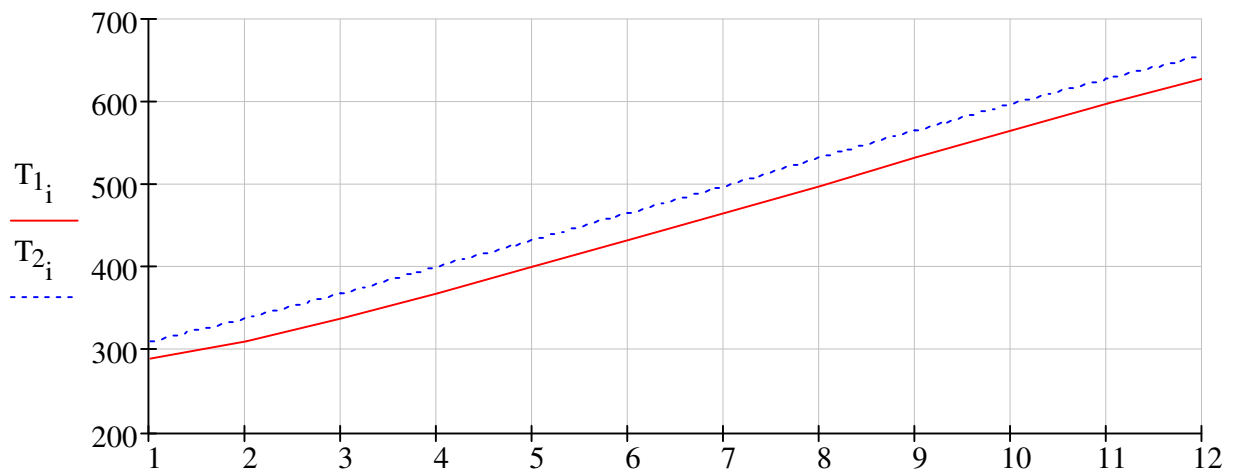


Рисунок 11 – Изменение температуры воздуха по ступеням компрессора

Расчетные коэффициенты повышения давления приведены на рисунке 1.12.



Рисунок 12 – Коэффициенты повышения давления по ступеням

Наибольшей эффективностью обладают ступени 1-7. Для повышения эффективности работы ступеней 8-12 потребуется изменение конструкции лопаток - переход от постоянного диаметра вала к постоянному диаметру втулки.

1.4.5 Расчет расхода топлива

Требуемая работа, необходимая для сжатия газа определена ранее

$$A_k = 404.025 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

1.4.6 Расчет вспомогательного оборудования

Атмосферный воздух подвергается очистке от частиц пыли перед сжатием в газотурбинной установке. Выполним расчет основных размеров пылеуловителя, построенного на базе циклонных элементов. Исходными данными к расчету являются следующие величины:

- рабочее давление очищаемого газа $P = 0,73$ МПа;
- расход газа при $P_0 = 0,1013$ МПа и $T_0 = 273$ К $G_{r0} = 70,4$ т/ч;
- максимальная температура газа $T = 650$ К.

Для очистки используем мультициклон, циклонные элементы помещаем внутрь корпуса. Схема к расчету приведена на рисунке 1.13.

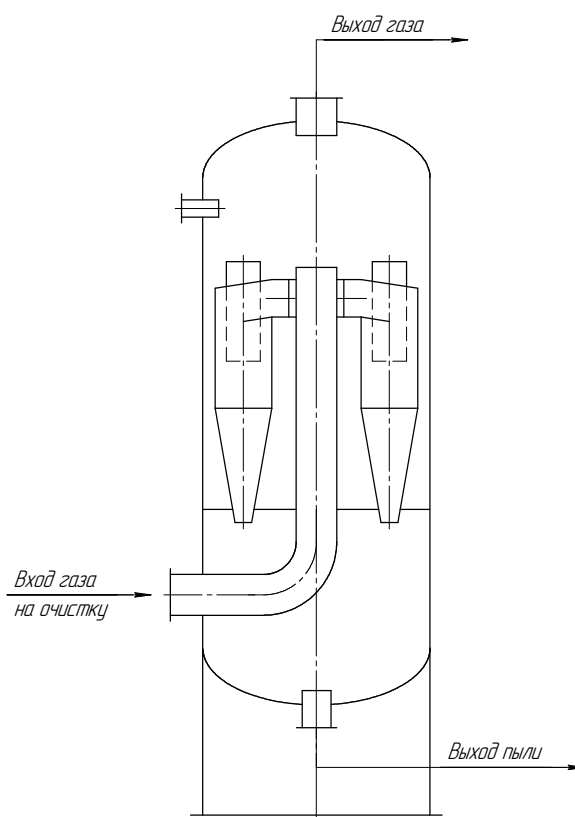


Рисунок 13 – Схема к расчету пылеуловителя

Расход газа при рабочих условиях, при котором обеспечиваются оптимальные условия работы циклонного элемента

$$Q_{\text{опт}} = \frac{\pi d^2}{4} \omega_{\text{опт}},$$

где d – внутренний диаметр циклонного элемента, принимаем $d = 0,35$ м;

$\omega_{\text{опт}}$ – оптимальная скорость движения газа, принимаем $\omega_{\text{опт}} = 4,6$ м/с [4].

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

Определим основные размеры циклонов в соответствии с [4, с. 93]. Схема к расчету представлена на рисунке 1.15.

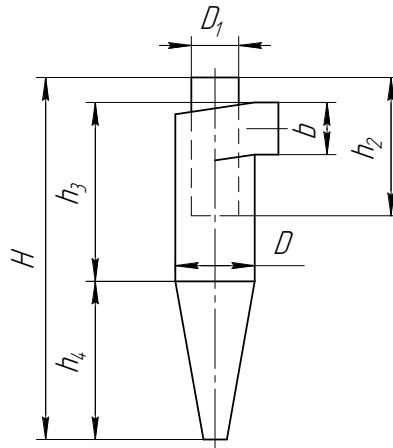


Рисунок 15 – Схема к расчету размеров циклонного элемента

Диаметр выходной трубы

$$D_1 = 0.6D = 0.6 \cdot 350 = 210 \text{ мм.}$$

Ширина входного патрубка

$$b = 0.26D = 0.26 \cdot 350 = 91 \text{ мм.}$$

Высота входного патрубка

$$h_1 = 0.66D = 0.66 \cdot 350 = 231 \text{ мм.}$$

Высота выходной трубы

$$h_2 = 1.74D = 1.74 \cdot 350 = 609 \text{ мм.}$$

Высота конической части

$$h_4 = 2D = 2 \cdot 350 = 700 \text{ мм.}$$

Общая высота циклонного элемента

$$H = 4.56D = 4.56 \cdot 350 = 1596 \text{ мм.}$$

Диаметр штуцеров для входа и выхода газа

$$d_{\text{шт}} = \sqrt{\frac{4V_{\text{г}}}{\pi \omega}},$$

где ω – скорость газа в штуцере, принимаем $\omega = 15 \text{ м/с}$.

$$d_{\text{шт}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,654}{3,14 \cdot 15}} = 0.474 \text{ м.}$$

Принимаем диаметры штуцеров $d_{\text{шт}} = 500 \text{ мм}$. Высотные размеры аппарата принимаются конструктивно.

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

При нормальном останове с помощью пошаговой программы осуществляется регулируемое разгружение до холостого хода.

После останова ГТУ при работе на валоповороте производится проворачивание вала в течение заданного времени.

В пределах САУ должно осуществляться формирование задания по частоте вращения и мощности с учетом теплового состояния элементов ГТУ и сигналов общей системы нормального и аварийного регулирования производительно, а также по командам оператора. Дополнительно выполняется диагностика правильности функционирования всей ГТУ и ее САУ.

САУ ГТУ должна выполнять представление текущей информации на дисплеях и индивидуальных приборах в объеме достаточном для контроля за состоянием основного и вспомогательного оборудования, за регулируемыми параметрами и сигнализацию их отклонения от заданных уставок.

САУ ГТУ должна быть построена таким образом, что отказы отдельных ее элементов не приводили к нарушениям надежной работы ГТУ, наработка САУ ГТУ на отказ должна быть не меньше 20000 часов.

Температура газа в современных ГТУ измеряется в камере сгорания и за турбиной. По ней определяется температура газа на входе в турбину. Степень нечувствительности системы ограничения температуры газов 10 °С относится к косвенно определяемой температуре газа на входе в турбину.

Система автоматических защит должна обеспечивать немедленное отключение ГТУ в случаях:

- недопустимого повышения температуры газов перед (и/или за) турбиной;
- повышения частоты вращения ротора сверх допустимого предела;
- недопустимого понижения давления масла в системе смазки или уровня масла в маслобаке;
- недопустимого повышения температуры масла на сливе из любого подшипника или любой из колодок упорного подшипника;
- погасания факела в камере сгорания;
- возрастания вибрации подшипниковых опор выше допустимых значений;
- срабатывания защит вспомогательного оборудования ГТУ.

2 Расчетно-конструкторский раздел

2.1 Разработка и описание конструкции ГТУ

Конструкция проектируемой ГТУ показана на рисунке 2.1.

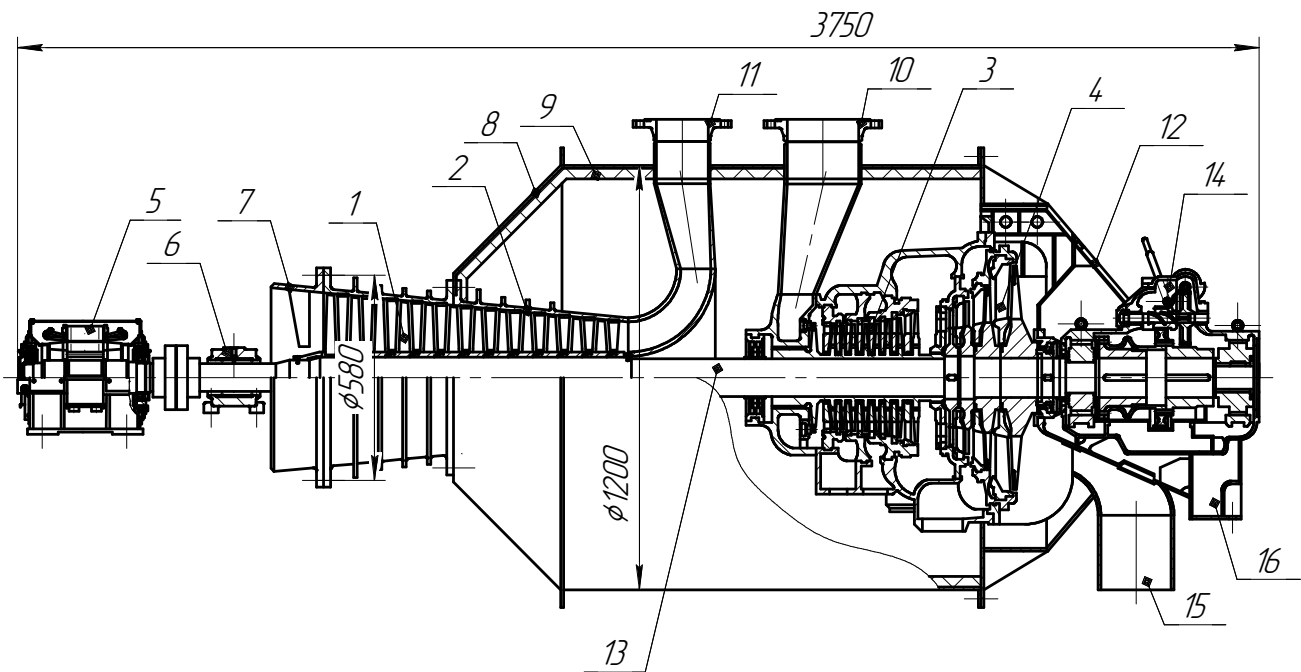


Рисунок 16 – Конструкция проектируемой ГТУ:

1 – цилиндр высокого давления; 2 – цилиндр низкого давления; 3 – турбина высокого давления; 4 – турбина низкого давления; 5 – электропривод стартера; 6 – опора; 7 – направляющий аппарат; 8 – кожух; 9 – теплоизоляция; 10, 11 – штуцер; 12 – крышка; 13 – ротор; 14 – привод валоповоротного устройства; 15 – выхлопная камера; 16 – опора

Осевой компрессор состоит из ротора 13, несущего рабочие лопатки всех ступеней, и корпуса со спрямляющими аппаратами и опорами. Данный компрессор имеет ротор смешанного типа, так как его отдельные секции имеют и диски, и барабанные участки. Такая барабанно-дисковая конструкция имеет достаточно большую жесткость и большое критическое число оборотов.

В представленном компрессоре секции соединяются между собой с помощью штифтов.

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

2.2 Выбор материала для изготовления аппарата

Наиболее нагруженной частью компрессора являются лопатки и вал. Выбор материала для изготовления компрессорных лопаток и его механические характеристики производится из нижеприведенной таблицы на рисунке 2.7. [4]

Механические характеристики материалов
для изготовления компрессорных лопаток

Тип материала	Марка	Плотность ρ кг/м ³	Предел прочности σ_B МПа	Предел текучести σ_T ($\sigma_{B0.2}$) МПа
Легированные стали	2Х13	7750	750	510
	20ХМ	7800	784	588
	35ХМ	7800	932	833
	40ХМН	7800	1100	900
Алюминиевые сплавы (для проектирования модельных компрессоров)	Д-16	2800	292	275
	АК4-1	2750	392	314
	ВД-17	2700	440	280
Титановые сплавы	BT3-1	4480	1100 ^{н)} /760 ^{кн)}	950/630
	BT8	4500	1070/770	920/630
	BT9	4520	1150/850	1030/720
	BT15	4540	1400/1150	1290/1070

н) Для $t \leq 100^\circ\text{C}$;
кн) Для $t \leq 400^\circ\text{C}$.

Рисунок 17 – Таблица для выбора материала

Принимаем для изготовления лопаток легированную сталь 20ХМ. Для выбранного материала при максимальной температуре [12]

$$\sigma_B = 450 \text{ МПа}, \sigma_{B20} = 660 \text{ МПа};$$

$$\sigma_T = 180 \text{ МПа}, \sigma_{T20} = 250 \text{ МПа}.$$

Выполним расчет фактического напряжения в лопатках первого диска и определим коэффициент запаса прочности.

2.3 Расчет элементов аппарата на прочность

2.3.1 Расчет лопаток первого диска

Плотность материала лопаток и коэффициент Пуансона для стали

$$\rho = 7800 \text{ кг/м}^3; \mu = 0,3.$$

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

$$= \frac{1 + \frac{1}{2} \times \left(\frac{1 - 2 \times 0,3}{1 + 0,3} \right) \times \left(1 - \frac{7800 \times 942^2 \times 0,144^2}{300} - 0,1 \right)}{1 - \left(\frac{1 - 2 \times 0,3}{2} \right) \times \frac{42}{144}} = 1,139.$$

Окружные напряжения на внутренней расточке кольца

$$\begin{aligned} \sigma_t &:= \sigma_x \cdot \left[1 + C_1 \cdot (1 - \mu) \cdot \frac{b}{R_0 + b} \right] = \\ &= 300 \times \left(1 + 1,137 \times (1 - 0,3) \times \frac{42}{144 + 42} \right) = 343 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Радиальное напряжение в стыке с лопатками

$$\sigma_r := \frac{2}{3} \cdot (1 - 2\mu) \cdot \sigma_x = \frac{2}{3} \times (1 - 2 \times 0,3) \times 300 = 80 \text{ МПа.}$$

Окружные напряжения на стыке с лопатками

$$\sigma_t := \frac{\sigma_r}{2} + \sqrt{\sigma_x^2 - \frac{3}{4} \cdot \sigma_r^2} = \frac{80}{2} + \sqrt{300^2 - \frac{3}{4} \times 80^2} = 332 \text{ МПа.}$$

Начальное значение переменной u для лопатки

$$u_1 := \text{asin} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{\sigma_r}{\sigma_x} \right) = \text{arcsin} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{80}{300} \right) = 0,233^R.$$

Значение

$$k := \frac{1 - \mu}{1 + \mu} = \frac{1 - 0,3}{1 + 0,3} = 0,538.$$

Константа C_0

$$r = R_0 = 0,144 \text{ м}$$

$$\begin{aligned} C_0 &:= \exp \left(2 \cdot \ln(r) + \sqrt{3} \cdot k \cdot u_1 + \ln \left(\cos \left(u_1 + \frac{\pi}{6} \right) \right) \right) = \\ &= \exp \left(2 \times \ln 0,144 + \sqrt{3} \times 0,538 \times 0,233 + \ln \cos \left(0,233 + \frac{3,14}{6} \right) \right) = 0,0126. \end{aligned}$$

Значение переменной u для конца лопатки определяем численными методами по критерию

$$2 \cdot \ln(r) + \sqrt{3} \cdot k \cdot u_2 + \ln \left(\cos \left(u_2 + \frac{\pi}{6} \right) \right) - \ln(C_0) = 0$$

Площадь сечения одной лопатки цилиндрической поверхностью, соосной диску

$$b_{\text{л}} = 35 \text{ мм}; \delta = 4 \text{ мм};$$

$$F_{2\text{л}} := \delta \cdot b_{\text{л}} = 35 \cdot 4 = 140 \text{ мм}^2$$

Число лопаток

$$z = 18.$$

Эквивалентный радиус

$$\rho_0 := 1 + \frac{F_{2\text{л}} \cdot z \cdot k_{\text{л}} \cdot 10^{-2}}{2\pi \cdot R_2 \cdot h_2} = 1 + \frac{140 \cdot 18 \cdot 0.3 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 3.14 \cdot 144 \cdot 4} = 1,0012.$$

Показатель степени

$$N := \frac{\rho_0 \cdot \omega^2 \cdot R_1^2}{\sigma_x} \cdot \cos\left(u_1 + \frac{\pi}{6}\right) = \frac{7800 \times 942^2 \times 0,144^2}{300} \times \cos\left(0,233 + \frac{3,14}{6}\right) = 0,150.$$

Отношения толщин

$$kk := \frac{\Phi_1(u_1)}{\Phi_1(u_2)} \cdot \left(\frac{\Phi_2(u_2)}{\Phi_2(u_1)}\right)^N = \frac{0,158}{0,418} \times \left(\frac{0,000162}{0,272}\right)^{0,218} = 0,365.$$

Толщина лопатки около втулки

$$h_1 := \frac{h_2}{kk} = 4 / 0,365 = 11 \text{ мм}.$$

Постоянная для бурта $\psi_b = 0,1$, соответственно

$$C_{16} := \frac{1 + 2 \cdot \frac{1 + \mu}{1 - 2\mu} + \psi_{\sigma} + \frac{\rho \cdot \omega^2 \cdot R_H^2}{\sigma_x}}{2 \cdot \frac{1 + \mu}{1 - 2\mu} + (1 + \mu) \cdot \psi_b} =$$
$$= \frac{1 + 2 \times \frac{1 + 0,3}{1 - 2 \times 0,3} + 0,1 + \frac{7800 \times 942^2 \times 0,118^2}{300}}{2 \times \frac{1 + 0,3}{1 - 2 \times 0,3} + (1 + 0,3) \times 0,1} = 1,32.$$

Радиальный размер бурта

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

$$\sigma_T = \sigma_{T1} + (t - t_1) \frac{\sigma_{T2} - \sigma_{T1}}{t_2 - t_1} = 200 + (377 - 300) \cdot \frac{200 - 210}{400 - 300} = 202 \text{ МПа.}$$

Определим номинальное допускаемое напряжение. Согласно [9, табл. 14.5] расчет для углеродистой стали при рабочей температуре менее 380 °С необходимо вести по формулам

$$\sigma^* = \min \left\{ \frac{\sigma_B}{n_B}; \frac{\sigma_T}{n_T} \right\}, \quad (2.1)$$

где n_B – запас прочности по пределу прочности, для стального проката из легированной стали $n_B = 2,6$ [9, табл. 14.6];

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

Соответственно нормативное допускаемое напряжение при расчетной температуре и при 20 °С:

$$\sigma^* = \left\{ \frac{445}{2,6}; \frac{202}{1,5} \right\} = \min \{ 171; 135 \} = 135 \text{ МПа}; \quad (2.2)$$

$$\sigma_{20}^* = \left\{ \frac{580}{2,6}; \frac{350}{1,5} \right\} = \min \{ 223; 233 \} = 233 \text{ МПа.} \quad (2.3)$$

Допускаемое напряжение при статических однократных нагрузках

$$[\sigma] = \eta \sigma^*, [\sigma]_{20} = \eta \sigma_{20}^*, \quad (2.4)$$

где η – поправочный коэффициент, учитывающий вид заготовки, для листового проката $\eta = 1,0$ [9, с. 10];

$$[\sigma] = 1,0 \cdot 135 = 135 \text{ МПа}, [\sigma]_{20} = 1,0 \cdot 233 = 233 \text{ МПа.} \quad (2.5)$$

Допускаемое напряжение при испытаниях

$$[\sigma]_{и} = \sigma_{T20} / 1,1 = 350 / 1,1 = 318 \text{ МПа.} \quad (2.6)$$

Исполнительная толщина стенки патрубка штуцера

$$s = s_p + c, \quad (2.7)$$

где s_p – расчетная толщина стенки

$$s_p = \max \left(\frac{p_p D}{2\phi[\sigma] - p_p}; \frac{p_{и} D}{2\phi[\sigma]_{и} - p_{и}} \right), \quad (2.8)$$

Допускаемое давление в рабочем состоянии и при испытаниях

$$[p] = \frac{2\varphi[\sigma](s - c)}{D + s - c} = \frac{2 \cdot 1,0 \cdot 135 \cdot (3,5 - 1,75)}{150 + 3,5 - 1,75} = 3,11 \text{ МПа}; \quad (2.11)$$

$$[p]_{\text{и}} = \frac{2\varphi[\sigma]_{\text{и}}(s - c)}{D + s - c} = \frac{2 \cdot 1,0 \cdot 318 \cdot (3,5 - 0,75)}{150 + 3,5 - 1,75} = 7,33 \text{ МПа}. \quad (2.12)$$

Допускаемое давление выше расчетного, поэтому патрубок удовлетворяет условию прочности

$$[p] \geq p; [p_{\text{и}}] \geq p_{\text{и}};$$

$$[3,11] \geq 0,73; [7,33] \geq 1,58.$$

В зависимости от выбранного типа обтюрации определяются геометрические размеры поверхностей под уплотнения по справочным таблицам. Для уплотнения типа шип-паз ($D_y = D_{\text{вх}} = 150$) размеры канавки и паза приведены в таблице [9, табл. 20.5]. Схема, поясняющая числовые значения, изображена на рисунке 18.

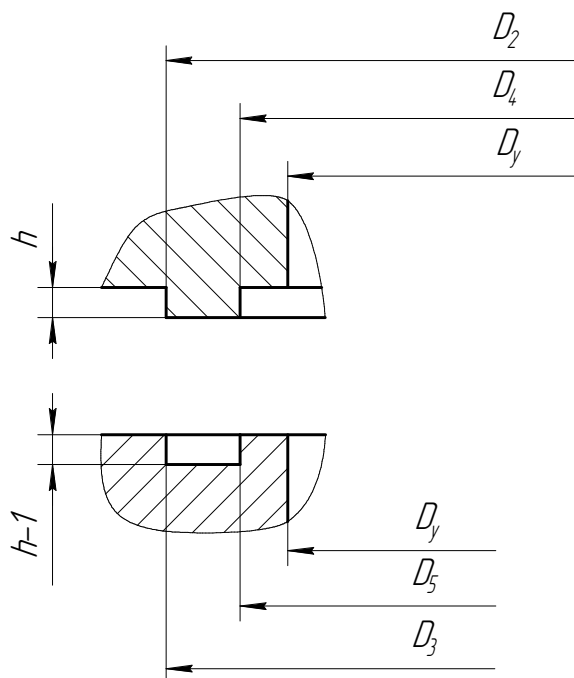


Рисунок 18 – Размеры уплотнения типа «шип-паз»

В соответствии с этим рисунком

$$h = 5 \text{ мм}; D_4 = D_5 = 182 \text{ мм};$$

$$D_2 = D_4 + 2b = 182 + 10 \cdot 2 = 202 \text{ мм}; D_3 = D_2 + 2 = 202 + 2 = 204 \text{ мм}$$

Расчет силы осевого сжатия. Ширина прокладки $b = 10$ мм. Средний диаметр уплотнения

$$D_n = D_2 - b = 202 - 10 = 192 \text{ мм}.$$

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

Напряжение в шпильках при затяжке и в рабочих условиях соответственно

$$\sigma_{61} = \frac{P_{61}}{z F_6} = \frac{0,332}{8 \cdot 452 \cdot 10^{-6}} = 91,8 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{62} = \frac{P_{62}}{z F_6} = \frac{0,322}{8 \cdot 452 \cdot 10^{-6}} = 89,0 \text{ МПа}.$$

Результаты расчетов позволяют сделать вывод, что принятое фланцевое соединение удовлетворяет условию прочности и обеспечит герметичность стыка.

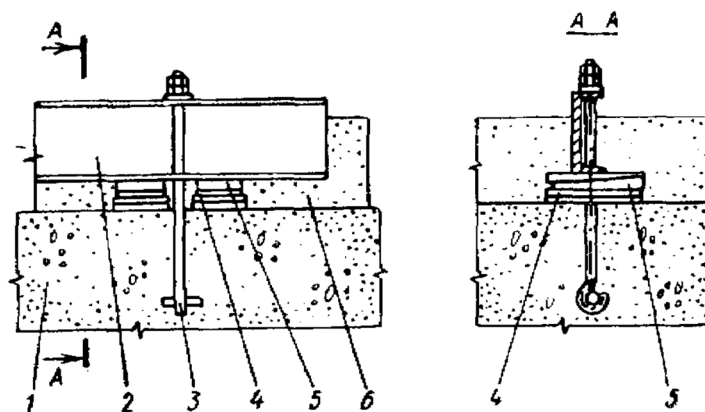


Рисунок 19 – Установка подкладок с установочными клиньями на фундаменте:

1 – фундамент; 2 – рама; 3 – фундаментный болт; 4 – плоские подкладки; 5 – клинья; 6 – подливочный слой.

Оборудование на металлических клиньях и клиновых домкратах устанавливают следующим образом. На поверхности фундамента намечают мелом площадки для опорных пластин, в соответствие с рисунком 3.2, размеры которых должны превышать размеры опорных приспособлений на 15...25 мм с каждой стороны. Площадки должны быть горизонтальными и обеспечивать плотное прилегание.

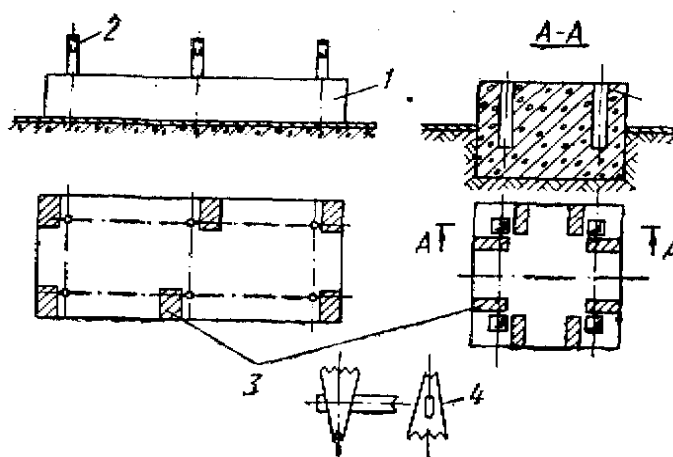


Рисунок 20 – Схема размещения опорных площадок для пластин:

1 – фундамент; 2 – анкерный болт; 3 – площадки под опорные пластины; 4 – молоток с насечкой.

После выверки оборудования производят подливку фундамента. Подливают цементный раствор под оборудование в зависимости от его крепления к фундаменту. Если анкерный болт закрепляют в процессе монтажа, заливка болтов

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

3) Штуцера, патрубки и другие выступающие части оборудования должны располагаться так, чтобы избежать поломки в процессе транспортирования [14].

Кроме того, при перевозке оборудования на железнодорожных платформах должны выдерживаться установленные габариты. Транспортируемые по железной дороге элементы ГТУ удовлетворяю условию по габаритам.

При транспортировке по железной дороге применим четырехосную платформу со следующей характеристикой [14]:

- грузоподъемность 50т;
- длина платформы 12914мм;
- ширина платформы 2780мм;
- высота погрузки 1272мм;
- масса вагона 18.4 т.

3.1.3 Сборка и монтаж аппарата

При сборке аппарата необходимо наличие грузоподъемных машин грузоподъемностью 1.5... 6.5 т. Внутри цеха оборудование монтируется при помощи подвижной кран-балки. При доставке оборудования железнодорожным способом может потребоваться дополнительная доставка по территории автомобильным транспортом. В этом случае для погрузки-разгрузки используется автокран К-104, обеспечивающий достаточную грузоподъемность, вылет крюка, высоту подъема (см. рисунок 3.3)

Изм.	Лист	№ докцм.	Подп.	Дата

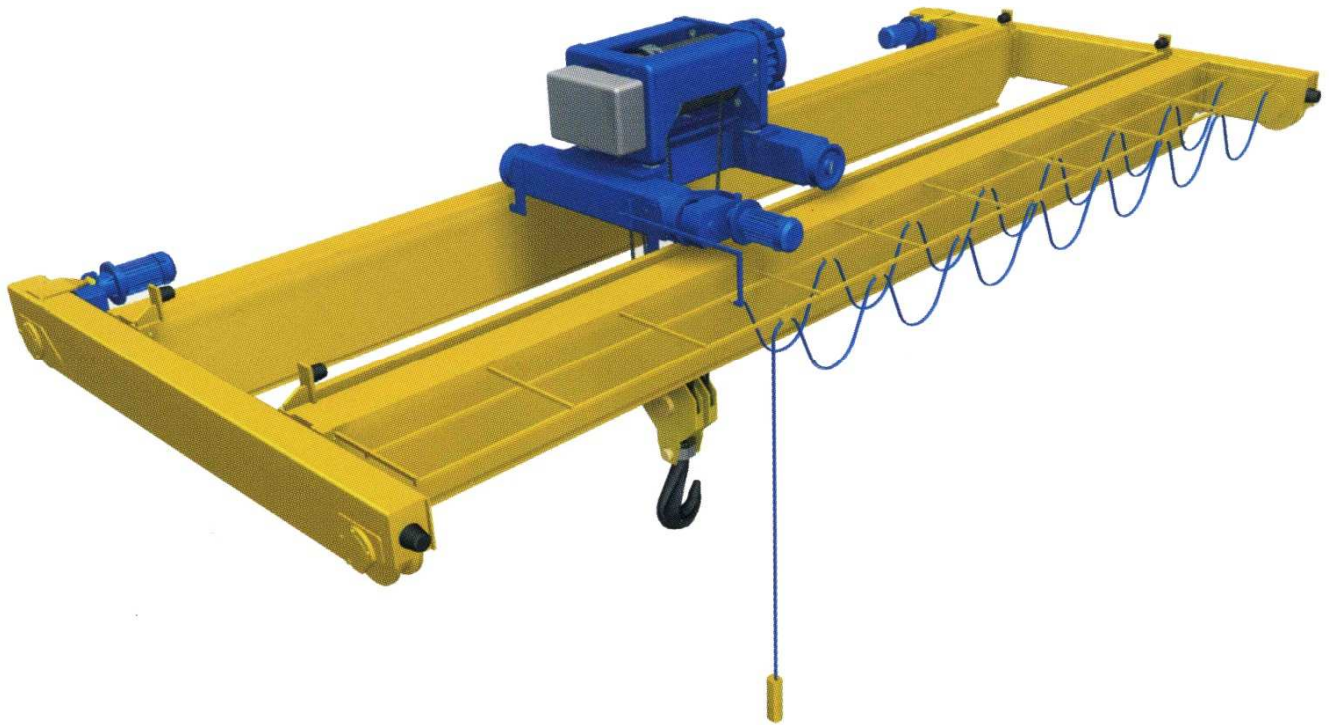


Рисунок 22 – Кран-балка свердловского завода грузоподъемного оборудования

Максимальный требуемый вылет при съеме ротора с железнодорожной платформы составляет около четырех метров. Необходимую высоту автокрана или размещения кран-балки определяем по формуле:

$$h_k = h_\phi + h_k + h_o + h_c,$$

где h_ϕ – высота железнодорожной платформы, м;

h_k – высота корпуса до линии разъема, м;

h_o – максимальный диаметр ротора, м;

h_c – высота строп, м.

$$h_k = 0,5 + 0,5 + 1,4 + 4,0 = 11,1 \text{ м.}$$

Установка ротора в сборе выполняется при захвате его четырьмя стропами за втулки подшипников. При известной массе груза P величину натяжения, возникающую в каждой ветви, определяют по формуле [14]:

$$S = P / (n \cdot \cos\alpha),$$

где P – усилие в ветви стропа, Н;

α – угол между ветвью стропа и вертикалью, в соответствии с рисунком 3.5.

Изм.	Лист	N докум.	Подп.	Дата

где G_3 = масса захватного устройства.

Усилие, действующее на неподвижный блок полиспаста:

$$P_H = (1.07 \dots 1.2)P_H = 1,2 \cdot 25 = 30 \text{ кН.}$$

В данном случае подбор полиспаста нужно вести по максимальной грузоподъемности кран-балки. Подбираем два блока по наибольшему усилию P_H со следующими характеристиками:

- блоки марки Б – 10;
- число роликов $N = 2$, общее $m = 4$ шт;
- диаметр роликов $d = 400$ мм;
- грузоподъемность полиспаста 10 т;
- масса полиспаста $G = 270$ кг;

Находим усилие в сбегающей ветви полиспаста

$$S_H = P_H (m_H \cdot \eta) = 25 / (2 \cdot 0,884) = 14,7 \text{ кН,}$$

где m_H – общее число роликов в полиспасте без учета отводных блоков;

$\eta = 0,85$ – коэффициент, учитывающий потери на трение в роликах на осях и сопротивления от жесткости каната, определяем по [14].

Определяем разрывное усилие в сбегающей ветви полиспасты

$$R = S_H \cdot k_3 = 14,7 \cdot 5,0 = 73,5 \text{ кН,}$$

где $k_3 = 5$ - коэффициент запаса прочности.

По таблице [14] подбираем канат для оснастки полиспаста типа ЛК-О конструкции $6 \times 19(1+9+9)+1$ ГОСТ 3077-80 с характеристиками:

- временное сопротивление разрыву 1666 МПа; .
- разрывное усилие 86.1 кН;
- диаметр каната 12 мм
- масса 1000 м каната 530 кг.

При установке ротора оттяжка не требуется, т.к. установка выполняется подвижной кран-балкой.

3.1.5 Приемка ГТУ в эксплуатацию и пробный пуск

Приемка ГТУ в эксплуатацию производится приемочными комиссиями, назначаемыми руководителем компании. Приемочная комиссия создается не

Перед пробным пуском должны быть выполнены условия для надежной и безопасной эксплуатации ГТУ [15]:

- укомплектован, обучен (с проверкой знаний) эксплуатационный и ремонтный персонал, разработаны и утверждены эксплуатационные инструкции, инструкции по охране труда и оперативные схемы, техническая документация по учету и отчетности;

- подготовлены запасы топлива, материалов, инструмента и запасных частей;

- введены в действие средства диспетчерского и технологического управления с линиями связи, системы пожарной сигнализации и пожаротушения, аварийного освещения, вентиляции;

- смонтированы и налажены системы контроля и управления;

- получены разрешения на эксплуатацию газотурбинной установки от органов государственного контроля и надзора.

3.2 Техническое обслуживание ГТУ

Техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонты ГТУ проводятся по планам, которые составляются в соответствии с требованиями инструкций заводов-изготовителей. Периодичность технического обслуживания и ремонтов зависит также от режима работы ГТУ, количества пусков, вида топлива. Кроме того, принимается во внимание состояние основного и вспомогательного оборудования ГТУ.

Операции по техническому обслуживанию проводятся в определенной последовательности и в установленные сроки. На каждой станции утверждается регламент технического обслуживания ГТУ и оговаривается технология выполнения регламентных работ. В регламентные работы входят, например, периодическая очистка турбин, компрессоров и теплообменников, осмотр лопаток турбин и компрессоров, проверка плотности газового и воздушного трактов, трубопроводов, шиберов и арматуры. Важным этапом регламентных работ является проверка исправности системы автоматического регулирования и защиты ГТУ.

производственные травмы и несчастные случаи были исключены. Каждый работник должен знать и строго выполнять правила безопасного обслуживания и проведения ремонтных работ. Администрация обязана обеспечить организационные и технические мероприятия по созданию безопасных условий труда.

Регулярный инструктаж, обучение персонала и постоянный контроль за соблюдением правил техники безопасности на электростанциях обязательны. Ответственность за несчастные случаи несет как администрация, не обеспечивая соблюдение правил безопасного производства работ, так и лица, нарушившие эти правила.

Производственный персонал должен уметь освобождать попавшего под напряжение и оказывать ему первую помощь, а также оказывать первую помощь пострадавшим при других несчастных случаях.

По характеру производственных процессов ГТУ являются агрегатами повышенной пожаро- и взрывоопасности и требуют обеспечения электробезопасности. В этих условиях строжайшее соблюдение правил техники безопасности является насущной и ежедневной необходимостью.

3.3 Разработка условий на капитальный ремонт оборудования

Ремонты ГТУ целесообразно осуществлять циклами с проведением постепенно увеличивающегося объема работ. По результатам осмотра производятся необходимые ремонтные работы, замена изнашиваемых деталей (уплотнений, гаек, болтов, манжеток и т.д.), а также отдельных деталей газоздушного тракта ГТУ, состояние которых делает их дальнейшее использование рискованным.

При среднем ремонте выполняются все работы, предусмотренные для инспекции камеры сгорания и, кроме того: [15]

- снятие верхней половины корпуса, сопл турбины;
- полный осмотр камер сгорания;
- осмотр и запись состояния сопловых и рабочих лопаток турбины;

Техническое обслуживание, ремонт газопроводов и газового оборудования должны осуществляться собственной газовой службой ГТЭС или по договору другими организациями, имеющими соответствующую лицензию территориальных органов Госгортехнадзора России.

Внутренние газопроводы ГТУ должны подвергаться техническому обслуживанию не реже одного раза в месяц и текущему ремонту не реже одного раза в год. Периодичность капитальных ремонтов устанавливается с учетом фактического состояния оборудования.

Текущий ремонт газового оборудования может не производиться ежегодно, если в паспорте (инструкции) завода-изготовителя есть соответствующие гарантии надежной работы на больший срок и даны разъяснения о режиме обслуживания по истечении гарантийного срока.

Периодичность средних и капитальных ремонтов ГТУ устанавливается с учетом фактического состояния оборудования, определяемого наработкой в эквивалентных часах и динамикой изменения параметров ГТУ (мощности, КПД, температуры газов на выходе из турбины, частоты вращения ротора генератора газа в ГТУ с выделенной силовой турбиной) в процессе эксплуатации.

Текущие ремонты должны проводиться в соответствии с регламентом технического обслуживания оборудования ГТУ, утвержденным техническим руководителем ТЭС. Ремонт оборудования газотурбинной установки допускается только по письменному разрешению руководства электростанции (по наряду).

Места производства ремонтных и огневых работ должны быть обеспечены необходимыми средствами пожаротушения.

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 [16, 17]:

- 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»

4.1 Анализ опасных и вредных факторов производства

Наиболее опасными соединениями является двуокись азота, так как она 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 окислов азота, состоявших полностью или в большей части из двуокиси азота, пострадавший во многих случаях не чувствует никакого раздражения дыхательных путей и только через 20-30 минут у него 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,

глуболежащих 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 (ожоги области суставов, шеи). Ожоги горячей жидкостью (и, особенно, перегретым водяным паром) могут быть очень обширными, но редко достигают степени выше чем III А.

Проявление вредного воздействия шума на организм человека весьма разнообразно. Длительное воздействие интенсивного шума (выше 80 дБ) на слух человека приводит к его частичной или полной потере. В зависимости от длительности и интенсивности воздействия шума происходит большее или меньшее снижение чувствительности органов слуха, выражающееся временным смещением порога слышимости, которое исчезает после окончания воздействия шума, а при большой длительности и (или) интенсивности шума происходят необратимые потери слуха (тугоухость), характеризующиеся постоянным изменением порога слышимости.

Действие шума на организм человека не ограничивается воздействием на орган слуха. Через волокна слуховых нервов раздражение шумом передается в центральную и вегетативную нервную системы, а через них воздействует на внутренние органы, приводя к значительным изменениям в функциональном состоянии организма, влияет на психическое состояние человека, вызывая чувство беспокойства и раздражения. Человек, подвергающийся воздействию интенсивного (более 80 дБ) шума, затрачивает в среднем на 10- 20% больше физических и нервно-психических усилий, чтобы сохранить выработку, достигнутую им при уровне звука ниже 70 дБ. Воздействие на вегетативную нервную систему проявляется даже при небольших уровнях звука (40-70 дБ). Из вегетативных реакций наиболее выраженным является нарушение периферического кровообращения за счет сужения капилляров кожного покрова и слизистых оболочек, а также повышения артериального давления (при уровнях звука выше 85 дБ).

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).

4.2 Мероприятия по предотвращению воздействия опасных факторов

Для безопасной работы персонал газотурбинной установки обязан:

- поддерживать качество ГТУ – расход и давление воздуха на технологию;
- соблюдать оперативно-диспетчерскую дисциплину;
- содержать оборудование в состоянии эксплуатационной готовности;
- обеспечивать максимальную экономичность и надежность ГТУ;
- соблюдать ПТиПБ в процессе эксплуатации оборудования и сооружений;
- выполнять правила охраны труда;
- предупреждать вредное влияние на людей и окружающую среду;
- использовать достижения научно-технического прогресса для повышения экономичности, надежности и безопасности и уменьшения воздействия установки на окружающую среду.

Для предотвращения разрушения трубопроводов и оборудования необходимо выполнение требований «Правил устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячего водоснабжения» ПБ 10-573-03; «Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением ПБ 10-115-96»; «ПБ 09-170-97 «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств»

Для предотвращения поражения электрическим током необходимо соблюдение межотраслевых правил по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок ПОТ РМ-016-2001.

Для предотвращения шума необходимо выполнение санитарных норм СН 2.2.4/2.1.8.562 -96, утвержденные постановлением Госсантехнадзора РФ от 31 октября 1996 г. №36.

7. С целью обеспечения безотказности производства, для создания азотных подушек, для приборов КИПиА и других целей используется чистый азот с содержанием кислорода 0,02% объемных.

8. С целью уменьшения вероятности попадания азотной кислоты в систему сбора конденсата конденсат водяного пара через нейтрализатор сбрасывается в химзащищенную канализацию.

При эксплуатации и ремонте оборудования, зданий и сооружений должны выполняться требования стандартов безопасности труда, руководств поставщиков по эксплуатации и техническому обслуживанию ГТУ, Правила техники безопасности при эксплуатации теплотехнического оборудования электростанций и тепловых сетей.

Руководителем цеха должны быть разработаны и утверждены инструкции по охране труда. Все работники должны знать и точно выполнять требования безопасности труда. Руководящий инженерно-технический и рабочий персонал несут полную ответственность в пределах своих полномочий за безопасность труда.

Каждый случай травматизма и случаи нарушения требований безопасности труда должны быть расследованы, выявлены причины и виновники, приняты меры предупреждения повторения подобных случаев. Сообщение, расследование и учет случаев травм осуществляется в соответствии с действующим директивным документом.

Ответственность за производственный травматизм несут лица, не обеспечивающие безопасность труда, не принявшие должных мер для предупреждения травм, в пределах своих полномочий, а также лица, непосредственно нарушившие требования безопасности или инструкции по охране труда.

В период эксплуатации ГТУ ее работники должны периодически согласно графику проходить занятия по освоению пожарно-технического минимума по правилам пожарной безопасности, повышать свою квалификацию, участвовать в противопожарных тренировках.

Для защиты от удара молнией рекомендуется устанавливать молниеотводы на высоком оборудовании. Молниеотвод устанавливаем на абсорбере нитрозных газов высотой $h = 22$ м с наружным диаметром 2,8 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 4.1.

Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой h до 150 м представляет собой конус. Вершина конуса находится на высоте зоны 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 .

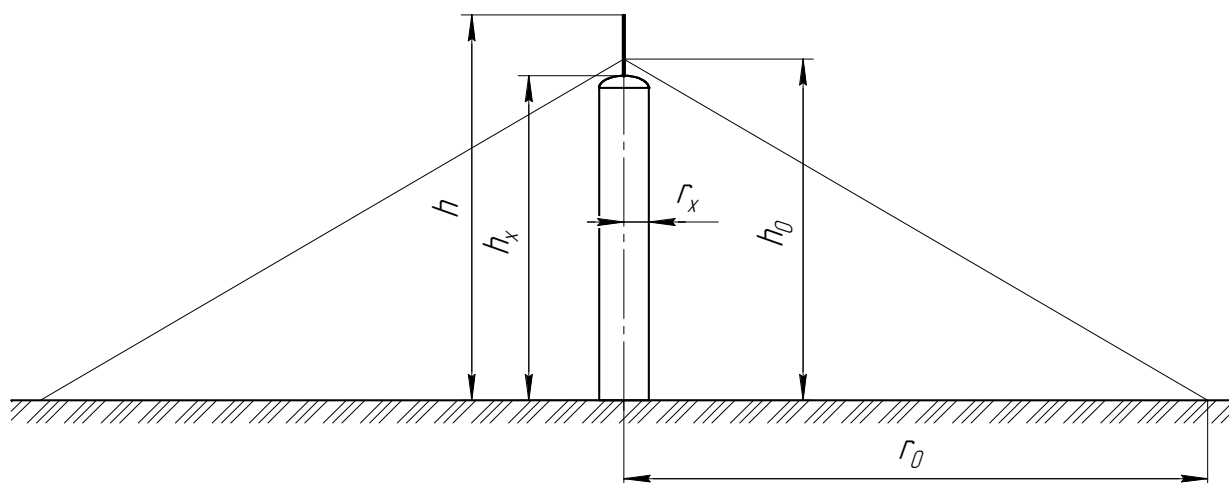


Рисунок 24 Схема к расчёту молниеотвода

Высоту одиночного стержневого молниеотвода определяют по формуле

$$h = \frac{r_x + 1,63h_x}{1,5}, \quad (4.1)$$

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

Изм.	Лист	N докум.	Подп.	Дата

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

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

Тогда

$$n_{с.т} = \frac{31.94}{30 \cdot 0.86} = 1.2.$$

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.

4.3 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
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

5 Экономический раздел

По сравнению с оборудованием-аналогом изменен способ сжатия атмосферного воздуха: вместо существующей ГТУ и дожимного компрессора устанавливается специализированная турбина.

В новой установке производительность компрессора подобрана таким образом, что количество сжимаемого воздуха превышает необходимое количество для работы турбины. Избыток сжатого воздуха представляет собой полезную нагрузку оборудования.

Благодаря приведенной модернизации снижаются расходы на обслуживание оборудования и, в меньшей степени, расходы энергоресурсов за счет снижения использования электроэнергии, вместо этого используется природный газ.

5.1 Обоснование производственной мощности

Расчет выполнен с использованием методики, приведенной в [18]. Установка предназначена для производства аммиака. Максимальная производительность установки составляет

$$M = 120000 \frac{\text{Т}}{\text{год}}$$

Фактическая производительность оборудования аналога составляет

$$P_{\text{ан}} = 115300 \frac{\text{Т}}{\text{год}}$$

Принимаем фактическая производительность проектируемой установки равной фактической производительности аналогичного оборудования, поскольку реконструкция не влияет на мощность установки

$$P_{\text{ф}} = 115300 \frac{\text{Т}}{\text{год}}$$

Уровень использования мощностей (проектируемый и фактический, или аналоговый), за определенный промежуток времени:

$$K_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{пр}}}{M_{\text{пр}}} = 115300 / 120000 = 0,963.$$

Результаты расчета производственной мощности сведены в таблицу 5.1.

					vector-study.ru	Лист
Изм.	Лист	N докцм.	Подп.	Дата		75

Таблица 3 – 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	6	18	19	19
2. Вспомогательные рабочие		7	7	7	7
2.1. По уходу и надзору за оборудованием	5	5	5	5	5
2.2. По текущему ремонту оборудования	4	2	2	2	2
Всего штатное количество рабочих		13	25	26	26

Расчет численности ИТР сведен в таблицу 5.3.

Таблица 4 – Таблица для расчета заработной платы ИТР

Должность	Число смен в сутки	Количество работающих в 1 смену	Количество работающих с учетом подмены	Списочное количество работников
Руководители	1	2	2	2
Специалисты	3	4	12	12
Служащие	1	1	1	1
Всего		7	15	15

Расчет заработной платы рабочих сведен в таблицу 5.4, ИТР – в таблицу 5.5.

Таблица 5 – Расчет заработной платы 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	19	135,4	188	483 648,80р.	25	120 912,20р.	60 456,10р.	665 017,10р.	7 980 205,20р.
Ремонтный персонал	5	2	96,5	166	32 038,00р.	15	4 805,70р.		36 843,70р.	442 124,40р.
Вспомогательные рабочие	4	5	89,8	166	74 534,00р.	15	11 180,10р.		85 714,10р.	1 028 569,20р.
Итого		26			590 220,80р.		136 898,00р.	60 456,10р.	787 574,90р.	9 450 898,80р.
Среднее					22 700,80р.		5 265,31р.		30 291,34р.	30 291,34р.

Средняя заработная плата рабочих в месяц

$$СЗ_{\text{раб}} = \frac{\text{ФОТ}_{\text{раб}}}{12\text{Ч}_{\text{раб}}} = \frac{9\,450\,898,80}{12 \cdot 26} = 30\,291,34 \text{ руб/мес.}$$

Таблица 6 – Расчет заработной платы ИТР

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	2	8	39 700,00р.	79 400,00р.	5	3 970,00р.	83 370,00р.	1 000 440,00р.
Специалисты	5	12	24	33 000,00р.	396 000,00р.	10	39 600,00р.	435 600,00р.	5 227 200,00р.
Служащие	4	1	8	18 000,00р.	18 000,00р.	10	1 800,00р.	19 800,00р.	237 600,00р.
Итого		15			493 400,00р.		45 370,00р.	538 770,00р.	6 465 240,00р.
Среднее					32 893,33р.		3 024,67р.		35 918,00р.

Средняя заработная плата ИТР в месяц

$$СЗ_{\text{ИТР}} = \frac{\text{ФОТ}_{\text{ИТР}}}{12\text{Ч}_{\text{ИТР}}} = \frac{6\,465\,240}{12 \cdot 15} = 35\,918,00 \text{ руб/мес.}$$

Результаты расчета экономии по калькуляционным статьям как абсолютной, так и относительной, представлены в таблице 5.6.

Таблица 7 – Результаты расчета экономии по калькуляционным статьям

Наименование статей расхода	Данные аналога		Проектные данные		Отклонение	
	на единицу	на весь выпуск	на единицу	на весь выпуск	абс	%
Переменные расходы						
1. Материальные расходы	3 387,20р.	390 544 160,00р.	3 381,14р.	389 845 442,00р.	- 698 718,00р.	-0,1789
2. Расходы энергоресурсов	3 058,00р.	352 587 400,00р.	3 057,40р.	352 518 220,00р.	- 69 180,00р.	-0,0196
3. Расходы на оплату труда	138,04р.	15 916 138,80р.	138,04р.	15 916 138,80р.	- р.	0,0000
Итого переменные расходы	6 583,24р.	759 047 698,80р.	6 576,58р.	758 279 800,80р.	- 767 898,00р.	-0,1012
Постоянные расходы						
4. Амортизационные расходы	172,15р.	19 848 895,00р.	161,27р.	18 594 431,00р.	- 1 254 464,00р.	-6,3201
5. Расходы на обязательное и добровольное страхование имущества	38,25р.	4 410 225,00р.	31,25р.	3 603 125,00р.	- 807 100,00р.	-18,3007
6. Расходы на содержание и ремонт основных средств	34,30р.	3 954 790,00р.	31,30р.	3 608 890,00р.	- 345 900,00р.	-8,7464
7. Расходы на освоение природных ресурсов	10,45р.	1 204 885,00р.	12,45р.	1 435 485,00р.	230 600,00р.	19,1388
8. Расходы на НИР и ОКР	50,75р.	5 851 475,00р.	50,98р.	5 877 994,00р.	26 519,00р.	0,4532
9. Цеховые расходы	113,70р.	13 109 610,00р.	113,70р.	13 109 610,00р.	- р.	0,0000
10. Общепроизводственные расходы	130,95р.	15 098 535,00р.	130,95р.	15 098 535,00р.	- р.	0,0000
11. Прочие расходы	15,70р.	1 810 210,00р.	15,70р.	1 810 210,00р.	- р.	0,0000
12. Внереализационные расходы	4,20р.	484 260,00р.	4,20р.	484 260,00р.	- р.	0,0000
Итого постоянные расходы	570,45р.	65 772 885,00р.	551,80р.	63 622 540,00р.	- 2 150 345,00р.	-3,2693
13. Полная себестоимость	7 153,69р.	824 820 583,80р.	7 128,38р.	821 902 340,80р.	- 2 918 243,00р.	-0,3538

5.2.4 Прибыль

Балансовая прибыль определяется по формуле:

$$\begin{aligned}
 \Pi_{\text{б}} &= (B - C) + \Pi_{\text{рмц}} + \Pi_{\text{во}} = \\
 &= (1\,037\,700\,000,00 - 821\,902\,340,80) + 0,00 + 0,00 = 215\,797\,659,20 \text{ руб.}
 \end{aligned}$$

где B – выручка от реализации продукции (работ, услуг);

C – затраты на производство и реализацию продукции;

$\Pi_{\text{рмц}} = 0$ – прибыль от реализации иных материальных ценностей;

$\Pi_{\text{во}} = 0$ – доходы от внереализационных операций, уменьшенные на сумму расходов по этим операциям.

Чистая прибыль определяется путем вычитания из балансовой прибыли налогов, отчислений, штрафов, и других первоочередных платежей. Результаты расчета сведены в таблицу 5.7 (см. далее).

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

$$T = \frac{K_{\text{пр}} - K_{\text{ан}}}{\Delta\Pi} = \frac{15\,000\,000,00}{2\,918\,243,00} = 5,14.$$

5.3 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 5.7.

Таблица 8 – Сводная таблица основных экономических показателей

Наименование показателя	Ед. изм.	Значение		Изменение	
		По аналогу	Проектное	абсолютное	отн.
1. Годовой выпуск продукции	т.	115 300,00	115 300,00	0,00	0,0000%
	руб.	1 037 700 000,00	1 037 700 000,00	0,00	0,0000%
2. Капитальные вложения	руб.	250 303 000,00	265 303 000,00	15 000 000,00	5,6539%
3. Удельные капитальные вложения	руб./т	2 170,88	2 300,98	130,10	5,6539%
4. Численность персонала	чел.	41,00	41,00	0,00	0,0000%
5. Средняя заработная плата	руб./чел.	32 349,88	32 349,88	0,00	0,0000%
6. Производительность труда	т/чел.	2 812,20	2 812,20	0,00	0,0000%
7. Себестоимость на единицу	руб.	7 153,69	7 128,38	-25,31	-0,3551%
на весь выпуск	руб.	824 820 583,80	821 902 340,80	-2 918 243,00	-0,3551%
8. Оптовая цена реализации	руб.	9 000,00	9 000,00	0,00	0,0000%
9. Прибыль на единицу	руб.	1 846,31	1 871,62	25,31	1,3523%
на весь выпуск	руб.	212 879 416,20	215 797 659,20	2 918 243,00	1,3523%
10. Рентабельность продукции		25,81%	26,26%	0,45%	1,7013%
производственных фондов		85,05%	81,34%	-3,71%	-4,5594%
11. Срок окупаемости капитальных вложений	год		5,140		
12. Фондоотдача	руб./руб.	4,146	3,911	-0,234	-5,9927%
13. Годовой экономический эффект	руб.		2 918 243,00		

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:

$$ТБ = \frac{\text{ПИ}}{\text{Ц}_y - \text{ПИ}_y} = 63\,622\,540,00 / (9\,000,00 - 6576,58) = 26253,$$

где ПИ – постоянные издержки;

Ц_y – удельная цена;

ПИ_y – удельные переменные издержки.

Заключение

В курсовом проекте спроектирована газотурбинная установка, работающая в составе установки производства азотной кислоты. Предлагаемая ГТУ установлена вместо двух единиц оборудования – центробежного компрессора и электродвигателя, работающих до реконструкции.

В разделе, посвященном обзору конструкций оборудования, приведены конструкции типовых компрессоров, используемых на производстве. На основании анализа выбран осевой компрессор с постоянным диаметром вала. Приводом является газовая турбина.

В результате расчетов определено необходимое количество ступеней осевого компрессора (12 шт) для сжатия атмосферного воздуха до давления 0,713 МПа. Часть воздуха направляется в камеру сгорания газовой турбины, а основная доля идет на технологию. В качестве привода используется типовая авиационная турбина мощностью 12 МВт.

В технологическом расчете определены основные размеры аппарата. Из теплового баланса определена температура воздуха на выходе из компрессора.

В расчетно-конструкторском разделе выполнено конструирование аппарата, осуществлен выбор материала лопаток, рассчитаны толщины лопаток.

Разработанная система контроля и автоматизации оборудования обеспечивает безопасность обслуживающего персонала и достижение заданной степени сжатия атмосферного воздуха при изменяющихся условиях работы установки.

Выполненные экономические расчеты подтверждают эффективность предлагаемой модернизации. Срок окупаемости составляет 5 лет. Сравнительно большой период возврата инвестиций компенсируется дополнительной прибылью в размере 3 млн. рублей в год.

Спроектированная газотурбинная установка может использоваться в производстве азотной кислоты для сжатия атмосферного воздуха.

15. Киселев Г.Ф. и др. Система технического обслуживания и ремонта технологического оборудования предприятий по производству минеральных удобрений. Справочник. – М.: Химия, 1991. – 384 с.

16. Сборник законодательных и других нормативных правовых актов по охране труда./Под ред. В.С. Шевцова. – Пятигорск: «Спецпечать», 2002.

17. Кукин П.П., Лапин В.Л., Пономарев Н.Л. Безопасность технологических процессов производств. Учебное пособие для вузов, 4-е изд., перераб. М.: Высш. шк., 2007. — 335 с.: ил.

18. Тимошенко Н.К., Сандрыкина О.С. Методические рекомендации по выполнению организационно-экономической части выпускной квалификационной работы. – Ставрополь: НТИ СКФУ, 2012. – 26 с.