

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО»

ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

### КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

По дисциплине «Энергетические установки»  
Газотурбинная установка мощностью 65 МВт  
(семестр 3)

Выполнил:

студент ВШЭМ СПбГУ

\_\_\_\_\_

А. К. Дмитриев

Проверил:

профессор ВШЭМ СПбГУ

\_\_\_\_\_

Е. Ю. Семакина

Санкт-Петербург — 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1 Описание конструкции прототипа .....	4
2 Вариантный расчет ГТУ на ЭВМ .....	6
2.1 Результаты расчета .....	6
2.2 $\tau$ .....	6
3 Приближенный расчет осевого компрессора .....	7

## **ВВЕДЕНИЕ**

В современной энергетике газотурбинные установки (ГТУ) играют важную роль, обеспечивая надежное и эффективное производство электроэнергии. ГТУ обладают рядом преимуществ, таких как высокая мощность, быстрый запуск, возможность работы в различных климатических условиях и относительно низкие эксплуатационные затраты. Эти установки широко используются в качестве основных и резервных источников энергии, а также для балансировки энергосистем, особенно в условиях роста доли возобновляемых источников энергии.

Одной из наиболее перспективных разработок в области газотурбинных установок является ГТЭ-65 — газовая турбина мощностью 65 МВт, разработанная российскими инженерами. ГТЭ-65 представляет собой современную турбину, которая сочетает в себе высокую эффективность, надежность и экологичность. На данный момент ГТЭ-65 находится на стадии активной разработки и тестирования, что делает её перспективной для внедрения в энергетические системы различных регионов.

Целью данной курсовой работы является создание газовой турбины мощностью 65 МВт на основе ГТЭ-65. В рамках работы будут рассмотрены основные технические характеристики ГТЭ-65, анализированы её преимущества и недостатки, а также предложены пути оптимизации и улучшения конструкции для достижения заявленной мощности.

Актуальность данной работы обусловлена растущей потребностью в надежных и эффективных источниках энергии. В условиях глобального энергетического перехода и увеличения доли возобновляемых источников энергии, газотурбинные установки, такие как ГТЭ-65, становятся важным элементом энергетической инфраструктуры. Они обеспечивают стабильность энергосистем, позволяют быстро реагировать на изменения спроса и покрывать пиковые нагрузки. Кроме того, разработка и внедрение отечественных технологий в области ГТУ способствует укреплению энергетической независимости и повышению конкурентоспособности национальной энергетики.

Таким образом, создание газовой турбины мощностью 65 МВт на основе ГТЭ-65 является важной задачей, решение которой позволит удовлетворить потребности современной энергетики и обеспечить устойчивое развитие энергетической инфраструктуры.

## 1 Описание конструкции прототипа

Давление воздуха перед компрессором:

$$P_1^* = \sigma_{\text{вх}}^* \cdot P_{\text{Н}} = \quad (1.1)$$

Температура воздуха перед компрессором:

$$T_1^* = T_{\text{Н}} = \quad (1.2)$$

Давление воздуха за компрессором:

$$P_2^* = \pi_k^* \cdot P_1^* = \quad (1.3)$$

Определим  $T_2^*$  (температуру воздуха за компрессором):

$$T_2^* = T_{\text{Н}}^* \cdot (\pi_k^*)^{\frac{k_{\text{в}}-1}{k_{\text{в}}}} = \quad (1.4)$$

Работа, соответствующая изоэнтропийному перепаду в компрессоре:

$$H_{\text{ок}}^* = C_{p_{\text{в}}} \cdot T_1^* \cdot \left[ (\pi_k^*)^{\frac{k_{\text{в}}-1}{k_{\text{в}}}} - 1 \right] = \quad (1.5)$$

$\eta_{\text{к ад}} = 0.91$  — политропный КПД компрессора, его выбор для расчета обусловлен тем, что он мало зависит от степени повышения давления в компрессоре  $\pi_k^*$ .

Полезная работа в компрессоре:

$$H_{\text{к}} = \frac{H_{\text{ок}}^*}{\eta_{\text{к ад}}} = \quad (1.6)$$

Принимаем коэффициент потерь полного давления в камере сгорания  $\sigma_{\text{кс}}^* = 0.96$ ;

Давление газа перед турбиной:

$$P_3^* = P_2^* \cdot \sigma_{\text{кс}}^* = \pi_k^* \cdot P_1^* \cdot \sigma_{\text{кс}}^* = \quad (1.7)$$

Принимаем коэффициент потерь полного давления в выходном устройстве ГТУ  $\sigma_{\text{вых}}^* =$ ;

Давление газа за турбиной:

Степень расширения газа в турбине:

$$P_4^* = \frac{P_{\text{Н}}^*}{\sigma_{\text{вых}}^*} = \quad (1.8)$$

Работа, соответствующая изоэнтропийному перепаду в турбине:

Полезная работа в турбине:

Температура газа за турбиной  $T_4^*$  определяется как:

Примем коэффициенты механических потерь в турбине и компрессоре

$\eta_{\text{мт}} =$ ;  $\eta_{\text{мк}} =$ ;

Расход воздуха через компрессор:

Теплота с учетом потерь в камере сгорания:

Примем КПД камеры сгорания  $\eta_{\text{КС}} =$ ;

Расход теплоты:

Эффективный КПД ГТУ:

Коэффициент полезной работы ГТУ:

Относительное количество воздуха, содержащегося в продуктах сгорания за камерой сгорания:

Коэффициент избытка воздуха в камере сгорания

Относительный расход топлива:

Допустимая температура для стали лопаток:  $T_{\text{ст}} = \text{K}$ ;

Расход воздуха для охлаждения статора:

Расход воздуха для охлаждения ротора:

Общий расход воздуха для охлаждения турбины:

Относительный расход охлаждающего воздуха по отношению к расходу воздуха через компрессор:

Расход топлива:

Коэффициент располагаемой мощности:

Удельная эффективная работа ГТУ:

Коэффициент полезной мощности:

## 2 Вариантный расчет ГТУ на ЭВМ

Проведен расчет параметров рабочего процесса в характерных сечениях проточной части и основных характеристик ГТУ при различных значениях степени повышения давления и температуры газа перед турбиной, по результатам расчета построены графики:  $H_e, \eta_e, \varphi = f(\pi_K^*, T_3^*)$

### 2.1 Результаты расчета

Графики на рисунках отражают результаты расчета. Полные результаты расчета смотреть в Приложении Б.

### 2.2 r

Максимальный КПД установки достигается при максимальной температуре газа перед турбиной – 1743К. Жаростойкость материала лопаток турбины не позволяет выдерживать такую температуру, поэтому в качестве входной температуры на турбину выберем К. Экстремум графика зависимости эффективного КПД ГТУ от степени повышения давления в компрессоре наблюдается при  $\pi_K^* = 34$  и  $\eta_e = 0.419$ . Выбор такой степени сжатия неоправдан, т. к. при нём слишком низкие значения эффективной удельной работы и коэффициента полезной работы. Экстремум графика зависимости эффективной удельной работы ГТУ от степени повышения давления в компрессоре наблюдается при  $\pi_K^* = 16$ , значение эффективного КПД ГТУ при этом  $\eta_e = 0.314$ . Коэффициент полезной работы ГТУ с увеличением монотонно уменьшается, однако уменьшение с целью увеличения нецелесообразно, поскольку величина коэффициента полезной работы ГТУ увеличивается незначительно, при этом снижается величина эффективной удельной работы.

Таким образом, для дальнейших расчетов принимаем:

### 3 Приближенный расчет осевого компрессора

Расчет производится в соответствии со схематическими продольными разрезами на рисунке и рисунке по методике из пособия.

При приближенном расчете осевого компрессора основными расчетными сечениями являются: сечение 1-1 на входе в первую ступень и сечение 2-2 на выходе из последней ступени (рис.4.2). Определим параметры  $P$  и  $T$  в трех сечениях.

Давление воздуха в сечении 1-1:

Температура в сечении 1-1:

Давление воздуха в сечении К-К:

Давление в сечении 2-2:

Значение плотностей:

$$\rho_1 = \frac{P_1^*}{R_b \cdot T_1^*} = \quad (3.9)$$

Примем КПД компрессора  $\eta_{ад}^* = 0.88$ ;

$$\rho_2 = \rho_1 \left( \frac{P_2^*}{P_1^*} \right)^{\frac{1}{n}} = \quad (3.10)$$

$$\frac{k}{k-1} \cdot \eta_{ад}^* = \frac{n}{n-1} \quad (3.11)$$

Примем величины осевой составляющей абсолютных скоростей в сечениях 1-1 и 2-2 соответственно  $C_{z_1} =$  и  $C_{z_2} =$ . Втулочное отношение выберем  $\nu_1 =$ . Расход воздуха  $G_b$ .

Из уравнения расхода первой ступени выразим значение наружного диаметра на входе в компрессор:

$$G_b = \rho_1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_{H_1}^2 - D_{BT_1}^2) \cdot C_{z_1} = \quad (3.12)$$

Откуда,

$$D_{H_1} = \sqrt{\frac{4G_b}{\rho_1 \cdot \pi \cdot (1 - \nu_1^2) \cdot C_{z_1}}} = \quad (3.13)$$

Диаметр втулки первой ступени:

$$D_{BT_1} = \nu_1 \cdot D_{H_1} = \quad (3.14)$$

Средний диаметр первой ступени:

$$D_{cp_1} = \frac{D_{H_1} + D_{BT_1}}{2} = \quad (3.15)$$

Длина рабочей лопатки первой ступени:

$$l_1 = \frac{D_{H1} - D_{BT1}}{2} = \quad (3.16)$$

Размеры проходного сечения 2-2:

$$F_2 = \frac{G_B}{C_{z_2} \cdot \rho_2} = \quad (3.17)$$

Принимаем в проточной части  $D_{BT} = \text{const.}$

Тогда:

$$\nu_2 = \frac{1}{\sqrt{\frac{1+4F_2}{\pi \cdot D_{BT1}^2}}} = \quad (3.18)$$

Длина рабочей лопатки на последней ступени:

$$l_2 = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{\nu_2} - 1 \right) \cdot D_{BT1} = \frac{1}{2}() \quad (3.19)$$

Для расчета частоты вращения необходимо задать окружную скорость на наружном диаметре первой ступени  $u_{H1}$ , тогда:

$$n = \frac{60u_{H1}}{\pi \cdot D_{H1}} \quad (3.20)$$