

Министерство образования и молодежной политики Свердловской области
ГАПОУ СО «Краснотурьинский индустриальный колледж»

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

**для выполнения дипломного проекта на тему
«Технический проект трехвальной газотурбинной установки
заданной мощностью для привода нагнетателя природного газа»
для специальности 13.02.02 «Теплоснабжение и теплотехническое
оборудование»**

**Автор: Малышева Е.В.
ЦК теплотехнических дисциплин**

**Краснотурьинск
2021г**

СОДЕРЖАНИЕ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА.....	3
СТРУКТУРА ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА	4
АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ.....	5
АЛГОРИТМ ТЕПЛООВОГО РАСЧЕТА ГТУ НА НОМИНАЛЬНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ.....	9
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	14
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	15
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.....	16
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ	17

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Данное методическое пособие предназначено для выполнения дипломного проекта «Технический проект трехвальной газотурбинной установки заданной мощностью для привода нагнетателя природного газа» для специальности 13.02.02 «Теплоснабжение и теплотехническое оборудование». В методическом пособии содержится структура пояснительной записки дипломного проекта, алгоритм расчетов, входящих в состав расчетной части дипломного проекта. Алгоритм расчета содержит все необходимые формулы и диапазоны выбираемых величин. Графические зависимости для выбора параметров приведены в приложении.

СТРУКТУРА ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ

ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ

СОСТАВ ПРОЕКТА

ВВЕДЕНИЕ

1. ОПИСАТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ

1.1 Описание конструкции ГТУ

1.2 Принцип работы ГТУ

1.3 Система маслоснабжения ГТУ

1.4 Система автоматического управления и регулирования ГТУ

1.5 Технология эксплуатации ГПА

1.6 Технология ремонта ГПА

1.7 Технология монтажа (один из элементов турбины)

2. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

2.1. Расчет тепловой схемы и выбор параметров

2.2. Тепловой расчет ГТУ на номинальный режим работы

3. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

3.1 Общие положения по охране труда

3.2 Требования безопасности, производственной санитарии и промышленной гигиены при обслуживании ГТУ

3.3 Меры пожарной безопасности на газокompрессорных станциях

4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Графическая часть проекта обязательно должна содержать следующие графические документы:

1. Тепловая схема ГТУ (Лист А1)

2. Продольный разрез цеха (Лист А1)

3. План цеха (Лист А1)

4. Чертеж на выбор (по согласованию с руководителем ВКР) (Лист А1)

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ

Исходные данные для расчета: давление воздуха перед осевым компрессором $P_6=$, температура воздуха перед осевым компрессором $T_6=$, эффективная мощность ГТУ $N_e=$, температура газа перед турбиной высокого давления T_2 , тип схемы, степень регенерации $r=$.

Расчет тепловой схемы выполняется на 1 кг рабочего тела (воздуха) в компрессоре. Потерями теплоты вследствие теплообмена через стенки корпусов турбомашин пренебречь.

Предварительно выбираем шесть значений степени сжатия воздуха в компрессоре $\pi_{к\Sigma}=...$. Для регенеративных ГТУ рекомендуется задавать $\pi_{к} = 3 \div 12$, для ГТУ простого цикла $\pi_{к} = 10 \div 30$. Расчет сначала проводим для одного выбранного значения степени сжатия $\pi_{к}$.

Особенностью расчета тепловой схемы трехвальной ГТУ является учет наличия двух компрессоров: компрессора низкого давления (КНД) и компрессора высокого давления (КВД), приводимых турбинами низкого и высокого давления.

$$\pi_{к1} = 1,05\sqrt{\pi_{к\Sigma}}.$$

Комплекс работы сжатия КНД

$$\overline{H}_{к1} = \pi_{к1}^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1,$$

где $\pi_{к1}$ - степень сжатия воздуха в КНД; κ - показатель адиабаты воздуха в КНД. При предварительном расчете принимаем $\kappa = 1,4$.

Удельная работа сжатия в КНД

$$H_{к1} = c_{р\kappa} \cdot T_6 \cdot \overline{H}_{к1} / \eta_{к1}, \text{ кДж/кг},$$

где $c_{р\kappa}$ - удельная изобарическая теплоемкость при средней температуре процесса сжатия, кДж/(кгК); T_6 - температура воздуха перед КНД, К; $\overline{H}_{к1}$ - комплекс работы сжатия КНД; $\eta_{к1}$ - коэффициент полезного действия КНД (выбираем при проектировании).

Принимаем $c_{р\kappa} = 1,01$ кДж/(кгК), $\eta_{к} = 0,86 \div 0,9$.

Температура воздуха за КНД

$$T_{к1} = T_6 + H_{к1} / c_{р\kappa}, \text{ К}.$$

Степень повышения давления в КНД

$$\pi_{к2} = \pi_{к\Sigma} / \pi_{к1}.$$

Комплекс работы сжатия КВД

$$\overline{H}_{к2} = \pi_{к2}^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1,$$

где $\pi_{к1}$ - степень сжатия воздуха в КВД; κ - показатель адиабаты воздуха в КВД. При предварительном расчете принимаем $\kappa = 1,4$.

Удельная работа сжатия в КВД

$$H_{к2} = c_{рк} \cdot T_{к1} \cdot \overline{H_{к2}} / \eta_{к2}, \text{ кДж/кг},$$

где $c_{рк}$ – удельная изобарическая теплоемкость при средней температуре процесса сжатия, кДж/(кгК); $T_{к1}$ - температура воздуха перед КВД и за КНД, К; $\overline{H_{к2}}$ - комплекс работы сжатия КВД; $\eta_{к2}$ - коэффициент полезного действия КВД (выбираем при проектировании).

Принимаем $c_{рк} = 1,005$ кДж/(кгК), $\eta_{к} = 0,86 \div 0,9$.

Температура воздуха за КВД

$$T_{к2} = T_{к1} + H_{к2} / c_{рк}, \text{ К}.$$

Суммарная степень расширения в турбинах

$$\pi_{т\Sigma} = \pi_{к\Sigma} (1 - \xi_{тр}),$$

где $\xi_{тр}$ - потери на трение по тракту ГТУ. Для ГТУ простого цикла $\xi_{тр} \leq 0,05$, для ГТУ с регенерацией теплоты $\xi_{тр} \leq 0,11$.

Удельная работа расширения продуктов сгорания турбины высокого давления

$$H_{т1} = H_{к2} / (v_1 \cdot \eta_{мех}), \text{ кДж/кг},$$

где v_1 - коэффициент, учитывающий разницу в расходах турбины и компрессора; $\eta_{мех}$ - механический коэффициент полезного действия. Для двух и трехвальных ГТУ принимается в пределах $0,96 \div 0,98$.

$$v_1 = 1 - q_{охл} - q_{ут} + q_{топ},$$

где $q_{охл}$ - расход охлаждающего воздуха, отнесенный к расходу воздуха; $q_{ут}$ - расход воздуха через лабиринтовые уплотнения, отнесенный к расходу воздуха; $q_{топ}$ - расход топлива, отнесенный к расходу воздуха.

В предварительном расчете: при $t_r = 800 \div 900^\circ\text{C}$ $q_{ох} = 0,035 \div 0,045$, при $t_r = 900 \div 1050^\circ\text{C}$ $q_{ох} = 0,04 \div 0,06$. $q_{ут}$ и $q_{топ}$ находятся в пределах $0,01 \div 0,02$ и в предварительном расчете могут быть приняты равными друг другу.

Температура продуктов сгорания за турбиной высокого давления

$$T_{т1} = T_r - H_{т1} / c_{рТ1}, \text{ К},$$

где T_r - температура продуктов сгорания на входе в ТВД, К; $c_{рТ1}$ - удельная изобарическая теплоемкость при средней температуре процесса расширения в ТВД, кДж/(кгК). В предварительном расчете принимаем $c_{рТ1} = 1,15$ кДж/(кгК).

Степень расширения продуктов сгорания в ТВД

$$\pi_{т1} = \left[1 - H_{т1} / (c_{рТ1} \cdot \eta_{т1} \cdot T_r) \right]^{1/\kappa},$$

где κ - показатель адиабаты продуктов сгорания в турбине, $\kappa = 1,333$; $\eta_{т1}$ - коэффициент полезного действия ТВД, $\eta_{т1} = 0,89 \div 0,92$.

Удельная работа расширения продуктов сгорания турбины низкого давления

$$H_{т2} = H_{к1} / (v_2 \cdot \eta_{мех}), \text{ кДж/кг},$$

где ν_2 - коэффициент, учитывающий разницу в расходах турбины и компрессора; $\eta_{\text{мех}}$ - механический коэффициент полезного действия. Для двух и трехвальных ГТУ принимается в пределах $0,96 \div 0,98$.

$$\nu_2 = 1 - q_{\text{охл}} - q_{\text{ут}} + q_{\text{топ}},$$

где $q_{\text{охл}}$ - расход охлаждающего воздуха, отнесенный к расходу воздуха; $q_{\text{ут}}$ - расход воздуха через лабиринтовые уплотнения, отнесенный к расходу воздуха; $q_{\text{топ}}$ - расход топлива, отнесенный к расходу воздуха.

В предварительном расчете: при $t_r = 800 \div 900^\circ\text{C}$ $q_{\text{ох}} = 0,035 \div 0,045$, при $t_r = 900 \div 1050^\circ\text{C}$ $q_{\text{ох}} = 0,04 \div 0,06$. $q_{\text{ут}}$ и $q_{\text{топ}}$ находятся в пределах $0,01 \div 0,02$ и в предварительном расчете могут быть приняты равными друг другу.

Степень расширения продуктов сгорания в ТНД

$$\pi_{\text{T2}} = \frac{\pi_{\text{T\Sigma}}}{\pi_{\text{T1}}}.$$

Температура продуктов сгорания за турбиной низкого давления

$$T_{\text{T2}} = T_{\text{r2}} - H_{\text{T2}}/c_{\text{pT2}}, K,$$

где T_{r2} - температура продуктов сгорания на входе в ТНД, К; c_{pT2} - удельная изобарическая теплоемкость при средней температуре процесса расширения в ТНД, кДж/(кгК). В предварительном расчете принимаем $c_{\text{pT2}} = 1,15$ кДж/(кгК).

Степень расширения продуктов сгорания в свободной силовой турбине

$$\pi_{\text{СТ}} = \pi_{\text{T\Sigma}} / (\pi_{\text{T1}} \cdot \pi_{\text{T2}}).$$

Удельная работа расширения силовой турбины

$$H_{\text{СТ}} = H_{\text{T3}} = c_{\text{pT}} \cdot T_{\text{r3}} \left(1 - \pi_{\text{T3}}^{\frac{1-\kappa}{\kappa}} \right) \eta_{\text{T3}}, \text{ кДж/кг},$$

где T_{r3} - температура продуктов сгорания перед силовой турбиной, К; η_{T3} - коэффициент полезного действия СТ, $\eta_{\text{T3}} = 0,89 \div 0,92$.

Удельная эффективная работа

$$H_e = H_{\text{СТ}} \nu_{\text{СТ}} \eta_{\text{мех}}, \text{ кДж/кг},$$

где $\nu_{\text{СТ}}$ - коэффициент, учитывающий разницу в расходах.

$$\nu_{\text{СТ}} = 1 - q_{\text{охл}} - q_{\text{ут}} + q_{\text{топ}},$$

где $q_{\text{охл}}$ - расход охлаждающего воздуха, отнесенный к расходу воздуха; $q_{\text{ут}}$ - расход воздуха через лабиринтовые уплотнения, отнесенный к расходу воздуха; $q_{\text{топ}}$ - расход топлива, отнесенный к расходу воздуха.

В предварительном расчете: при $t_{\text{ГСТ}} = 800 \div 900^\circ\text{C}$ $q_{\text{ох}} = 0,035 \div 0,045$, при $t_{\text{ГСТ}} = 900 \div 1050^\circ\text{C}$ $q_{\text{ох}} = 0,04 \div 0,06$. $q_{\text{ут}}$ и $q_{\text{топ}}$ находятся в пределах $0,01 \div 0,02$ и в предварительном расчете могут быть приняты равными друг другу.

Температура продуктов сгорания за СТ

$$T_{\text{T3}} = T_{\text{r3}} - H_{\text{T3}}/c_{\text{pT}}, K.$$

В предварительном расчете $C_{pT} = 1,13 \div 1,17$ кДж/(кгК);

Количество теплоты воздуха, поступающего в камеру сгорания из КВД

$$Q_B = c_{pB} \cdot T_{K2}(1 - q_{охл} - q_{yT}), \text{ кДж/кг},$$

где c_{pB} – средняя удельная изобарическая теплоемкость воздуха, определяемая по температуре воздуха за компрессором, кДж/(кгК), в предварительном расчете $c_{pB} = 1,02 \div 1,04$ кДж/(кгК).

Количество теплоты, подведенное к продуктам сгорания в камере сгорания

$$Q_{KC} = \frac{c_{pKC} \cdot T_{\Gamma}(1 - q_{охл})}{\eta_{KC}} - Q_B, \text{ кДж/кг},$$

где c_{pKC} – средняя удельная теплоемкость продуктов сгорания, определяемая по температуре за компрессором, кДж/(кгК); η_{KC} – коэффициент полезного действия камеры сгорания, учитывающий химический недожог топлива;

В предварительном расчете $c_{pKC} = 1,08 \div 1,12$ кДж/(кгК) и $\eta_{KC} = 0,98 \div 0,995$.

Эффективный КПД

$$\eta_e = H_e / Q_{KC}$$

Аналогично производится расчет для всех выбранных степеней сжатия. Результаты расчета сводятся в таблицу (см. табл.1.)

Таблица 1 - Расчет тепловой схемы и выбор параметров

№ п/п	Обоз- начение	Размер- ность	π_K					
			6	7	8	9	10	11

По данным, полученным при расчете, строим зависимости $H_e = f(\pi_K)$, $\eta_e = f(\pi_K)$

На основе полученных данных выбираем оптимальную степень сжатия $\pi_{K\Sigma 0}$. Для ГТУ с регенератором это значение находится в области максимальных значений H_e и η_e , потому что это обеспечивает экономичную работу ГТУ при наименьших размерах. Для ГТУ простого цикла оптимальную степень сжатия рекомендуется выбирать между максимумами $H_e = f(\pi_K)$ и $\eta_e = f(\pi_K)$.

АЛГОРИТМ ТЕПЛОВОГО РАСЧЕТА ГТУ НА НОМИНАЛЬНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ

Исходные данные: давление воздуха перед осевым компрессором $P_6 =$, температура воздуха перед осевым компрессором $T_6 =$, эффективная мощность ГТУ $N_e =$, температура газа перед турбиной высокого давления $T_2 =$, тип схемы, степень регенерации $r =$, оптимальная степень сжатия в компрессоре.

Расчет производим для оптимальной степени сжатия $\pi_{k\Sigma 0}$, выбранной при проектировании.

КПД КНД

$$\eta_{k1} = \frac{T_B (\pi_{k10}^{\frac{\kappa_1-1}{\kappa_1}} - 1)}{T_K - T_B}$$

Удельная работа сжатия в КНД

$$H_{k1} = c_{pk1} \cdot T_B \cdot (\pi_{k10}^{\frac{\kappa_1-1}{\kappa_1}} - 1) / \eta_{k1}, \text{ кДж/кг.}$$

Температура воздуха за КНД

$$T_{B2} = T_{B1} + H_{k1} / c_{pk1}, \text{ К.}$$

Средняя температура процесса сжатия воздуха в КНД

$$T_{cp1} = \frac{T_{B1} + T_{B2}}{2}, \text{ К.}$$

Уточняем теплофизические свойства воздуха при средней температуре процесса сжатия по графику «Истинная удельная теплоемкость для продуктов сгорания углеводородного топлива» и «Истинный показатель адиабаты» (см. рис.П.1 и рис.П.2). Уточненным величинам присваиваем индекс «'». При T_{cp1} и $\alpha = \infty$ находим значение c_{pk1}' и κ_1' .

Уточненное значение удельной работы сжатия КНД

$$H_{k1}' = c_{pk1}' \cdot T_B \cdot (\pi_{k10}^{\frac{\kappa_1'-1}{\kappa_1'}} - 1) / \eta_{k1}, \text{ кДж/кг.}$$

Уточненное значение температуры воздуха за КНД

$$T_{B2}' = T_{B1} + H_{k1}' / c_{pk1}', \quad T_K' = T_6 + \frac{H_K'}{c_{pk}'}, \text{ К.}$$

Уточненное значение средней температуры процесса сжатия воздуха в КНД

$$T_{cp1}' = \frac{T_{B1} + T_{B2}'}{2}, \text{ К.}$$

Если уточненная средняя температура отличается от рассчитанной ранее не более, чем на 3 %, дальнейшее уточнение теплофизических параметров воздуха не

требуется. Если разница между T_{cp1}' и T_{cp1} составляет более 3 %, то уточняем теплофизические свойства воздуха при T_{cp1}' и повторяем расчет.

КПД КВД

$$\eta_{к2} = \frac{T_{в2}' (\pi_{к2}^{\frac{к2-1}{к2}} - 1)}{T_{к2} - T_{в2}'}$$

Удельная работа сжатия в КВД

$$H_{к2} = c_{рк2} \cdot T_{в2}' \cdot (\pi_{к2}^{\frac{к2-1}{к2}} - 1) / \eta_{к2}, \text{ кДж/кг.}$$

Температура воздуха за КВД

$$T_{к2} = T_{в2}' + H_{к2} / c_{рк2}, \text{ К.}$$

Средняя температура процесса сжатия воздуха в КВД

$$T_{cp2} = \frac{T_{в2}' + T_{к2}}{2}, \text{ К.}$$

Уточняем теплофизические свойства воздуха при средней температуре процесса сжатия по графику «Истинная удельная теплоемкость для продуктов сгорания углеводородного топлива» и «Истинный показатель адиабаты» (см. рис.П.1 и рис.П.2). Уточненными величинам присваиваем индекс «'». При T_{cp2} и $\alpha = \infty$ находим значение $c_{рк2}'$ и $к2'$.

Уточненное значение удельной работы сжатия КВД

$$H_{к2}' = c_{рк2}' \cdot T_{в2}' \cdot (\pi_{к2}^{\frac{к2'-1}{к2'}} - 1) / \eta_{к2}, \text{ кДж/кг.}$$

Уточненное значение температуры воздуха за КВД

$$T_{к2}' = T_{в2}' + H_{к2}' / c_{рк2}', \text{ К.}$$

Уточненное значение средней температуры процесса сжатия воздуха в КВД

$$T_{cp2}' = \frac{T_{в2}' + T_{к2}'}{2}, \text{ К.}$$

Если уточненная средняя температура отличается от рассчитанной ранее не более, чем на 3 %, дальнейшее уточнение теплофизических параметров воздуха не требуется. Если разница между T_{cp2}' и T_{cp2} составляет более 3 %, то уточняем теплофизические свойства воздуха при T_{cp2}' и повторяем расчет.

Коэффициент избытка воздуха для продуктов сгорания

$$\alpha = \frac{3000 - 0,367 T_{г}}{T_{г} - T_{к2}'}$$

Суммарная степень расширения продуктов сгорания в турбинах

$$\pi_{т\Sigma} = \pi_{к\Sigma 0} (1 - \xi_{тр}).$$

Удельная работа расширения продуктов сгорания турбины высокого давления

$$H_{т1} = H_{к2}' / (v_1 \cdot \eta_{мех}), \text{ кДж/кг,}$$

При уточненном расчете многовальных схем ГТУ принимаем соответственно два, три или четыре значения v в зависимости от числа турбин ГТУ. Большая часть охлаждающего воздуха расходуется на охлаждение первых ступеней ТВД, лопатки силовой турбины обычно выполняются неохлаждаемыми.

Для ТВД

$$v_1 = 1 - q_{\text{охл}} - q_{\text{ут}} + q_{\text{топ}},$$

Для ТНД

$$v_2 = 1 - q_{\text{охл}} + q_{\text{охлТВД}} - q_{\text{ут}} + q_{\text{топ}}$$

Для СТ

$$v_{\text{СТ}} = 1 - q_{\text{охл}} + q_{\text{охлТ1}} + q_{\text{охлТ2}} - q_{\text{ут}} + q_{\text{топ}}$$

Температура продуктов сгорания за турбиной высокого давления

$$T_{\text{T1}} = T_{\text{Г2}} = T_{\text{Г1}} - H_{\text{T1}}/c_{\text{pT1}}, \text{ K.}$$

Средняя температура процесса расширения продуктов сгорания в ТВД

$$T_{\text{ср1}} = \frac{T_{\text{Г}} + T_{\text{T1}}}{2}, \text{ K.}$$

Уточняем теплофизические свойства продуктов сгорания c_{pT1} ' и κ_{T1} ' при средней температуре процесса расширения $T_{\text{ср1}}$ и коэффициенте избытка воздуха α , рассчитанном ранее (см. рис. П.1 и рис. П.2)

Уточненная температура продуктов сгорания за турбиной высокого давления

$$T_{\text{T1}}' = T_{\text{Г2}}' = T_{\text{Г1}} - H_{\text{T1}}/c_{\text{pT1}}', \text{ K.}$$

Уточненное значение средней температуры процесса расширения в турбине высокого давления

$$T_{\text{ср1}}' = \frac{T_{\text{Г}} + T_{\text{T1}}'}{2}, \text{ K.}$$

Если уточненная средняя температура отличается от рассчитанной ранее не более, чем на 3 %, дальнейшее уточнение теплофизических параметров воздуха не требуется. Если разница между $T_{\text{ср1}}'$ и $T_{\text{ср1}}$ составляет более 3 %, то уточняем теплофизические свойства продуктов сгорания при $T_{\text{ср1}}'$ и повторяем расчет.

Степень расширения продуктов сгорания в ТВД

$$\pi_{\text{T1}} = \left[1 - H_{\text{T1}} / (c_{\text{pT1}}' \cdot \eta_{\text{T1}} \cdot T_{\text{Г}}) \right]^{\frac{\kappa_{\text{T1}}'}{1 - \kappa_{\text{T1}}'}}$$

Удельная работа расширения продуктов сгорания турбины низкого давления

$$H_{\text{T2}} = H'_{\text{к1}} / (v_2 \cdot \eta_{\text{мех}}), \text{ кДж/кг,}$$

Температура продуктов сгорания за турбиной низкого давления

$$T_{\text{T2}} = T_{\text{Г2}}' - H_{\text{T2}}/c_{\text{pT2}}, \text{ K,}$$

Средняя температура процесса расширения продуктов сгорания в ТНД

$$T_{\text{ср2}} = \frac{T_{\text{T2}} + T_{\text{T1}}}{2}, \text{ K.}$$

Уточняем теплофизические свойства продуктов сгорания c_{pT2}' и κ_{T2}' при средней температуре процесса расширения T_{cp2} и коэффициенте избытка воздуха α , рассчитанном ранее (см. рис.П.1 и рис. П.2)

Уточненная температура продуктов сгорания за турбиной низкого давления

$$T_{T2}' = T_{T2}' - H_{T2}/c_{pT2}', \text{ К.}$$

Степень расширения продуктов сгорания в ТНД

$$\pi_{T2} = \left[1 - H_{T2}/(c_{pT2}' \cdot \eta_{T2} \cdot T_{T2}') \right]^{\frac{\kappa_{T2}'}{1-\kappa_{T2}'}}.$$

Степень расширения продуктов сгорания в свободной силовой турбине

$$\pi_{ст} = \pi_{T\Sigma}/(\pi_{T1} \cdot \pi_{T2}).$$

Удельная работа расширения силовой турбины

$$H_{ст} = H_{T3} = c_{pT3} \cdot T_{T3} \left(1 - \pi_{T3}^{\frac{1-\kappa}{\kappa}} \right) \eta_{T3}, \text{ кДж/кг.}$$

Температура продуктов сгорания за свободной силовой турбиной

$$T_{T3} = T_{T2}' - H_{T3}/c_{pT3}, \text{ К.}$$

Средняя температура процесса расширения продуктов сгорания в свободной силовой турбине

$$T_{cp3} = \frac{T_{T2} + T_{T3}}{2}, \text{ К.}$$

Уточняем теплофизические свойства продуктов сгорания c_{pT3}' и κ_{T3}' при средней температуре процесса расширения T_{cp3} и коэффициенте избытка воздуха α , рассчитанном ранее (см. рис.П.1 и рис. П.2)

Уточненная удельная работа расширения силовой турбины

$$H_{ст}' = H_{T3}' = c_{pT3}' \cdot T_{T3}' \cdot \left(1 - \pi_{T3}^{\frac{1-\kappa_{T3}'}{\kappa_{T3}'}} \right) \cdot \eta_{T3}, \text{ кДж/кг.}$$

Уточненная температура продуктов сгорания за свободной силовой турбиной

$$T_{T3}' = T_{T2}' - H_{T3}'/c_{pT3}', \text{ К.}$$

Полезная работа ГТУ

$$H_e = H_{ст}' \cdot \nu_{ст} \cdot \eta_{мех}, \text{ кДж/кг.}$$

Уточняем теплофизические свойства воздуха за компрессором $c_{pв}'$ при температуре $T_{к2}'$ и $\alpha = \infty$ по диаграмме средней удельной теплоемкости для продуктов сгорания углеводородного топлива (см.рис.П.3).

Уточненное количество теплоты воздуха, поступающего в камеру сгорания из КВД

$$Q_v = c_{pв}' \cdot T_{к2}' (1 - q_{охл} - q_{ут}), \text{ кДж/кг,}$$

Уточняем теплофизические свойства продуктов сгорания за компрессором $c_{p,rc}'$ при температуре $T_{cp,rc}$ и α , найденном ранее, по диаграмме средней удельной теплоемкости для продуктов сгорания углеводородного топлива (см.рис.П.3).

$$T_{cp,rc} = \frac{T_{r1} + T'_{k2}}{2}, \text{ К.}$$

Количество теплоты, подведенное к продуктам сгорания в камере сгорания

$$Q_{kc} = \frac{c_{p,rc}' \cdot T_{r1} (1 - q_{охл})}{\eta_{kc}} - Q_B, \text{ кДж/кг.}$$

Эффективный КПД

$$\eta_e = H_e / Q_{kc}$$

Расход воздуха в цикле, обеспечивающий номинальную мощность

$$G_B = \frac{N_e}{H_e \cdot \nu_{ст}}, \text{ кг/с.}$$

Расход рабочего тела для турбин

$$G_{T1} = G_B \cdot \nu_1, \text{ кг/с.}$$

$$G_{T2} = G_B \cdot \nu_2, \text{ кг/с.}$$

$$G_{T3} = G_B \cdot \nu_{ст}, \text{ кг/с.}$$

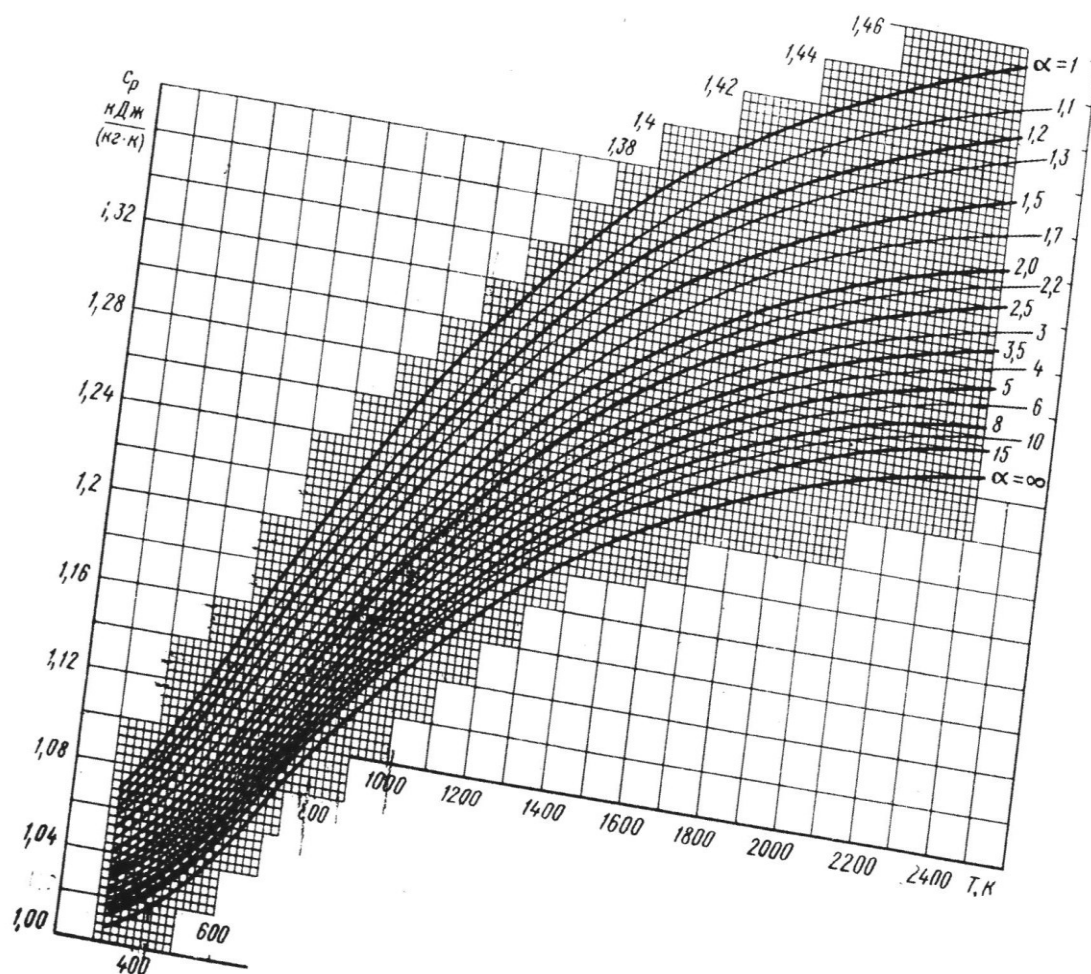


Рисунок 1- Истинная удельная теплоемкость для продуктов сгорания углеводородного топлива

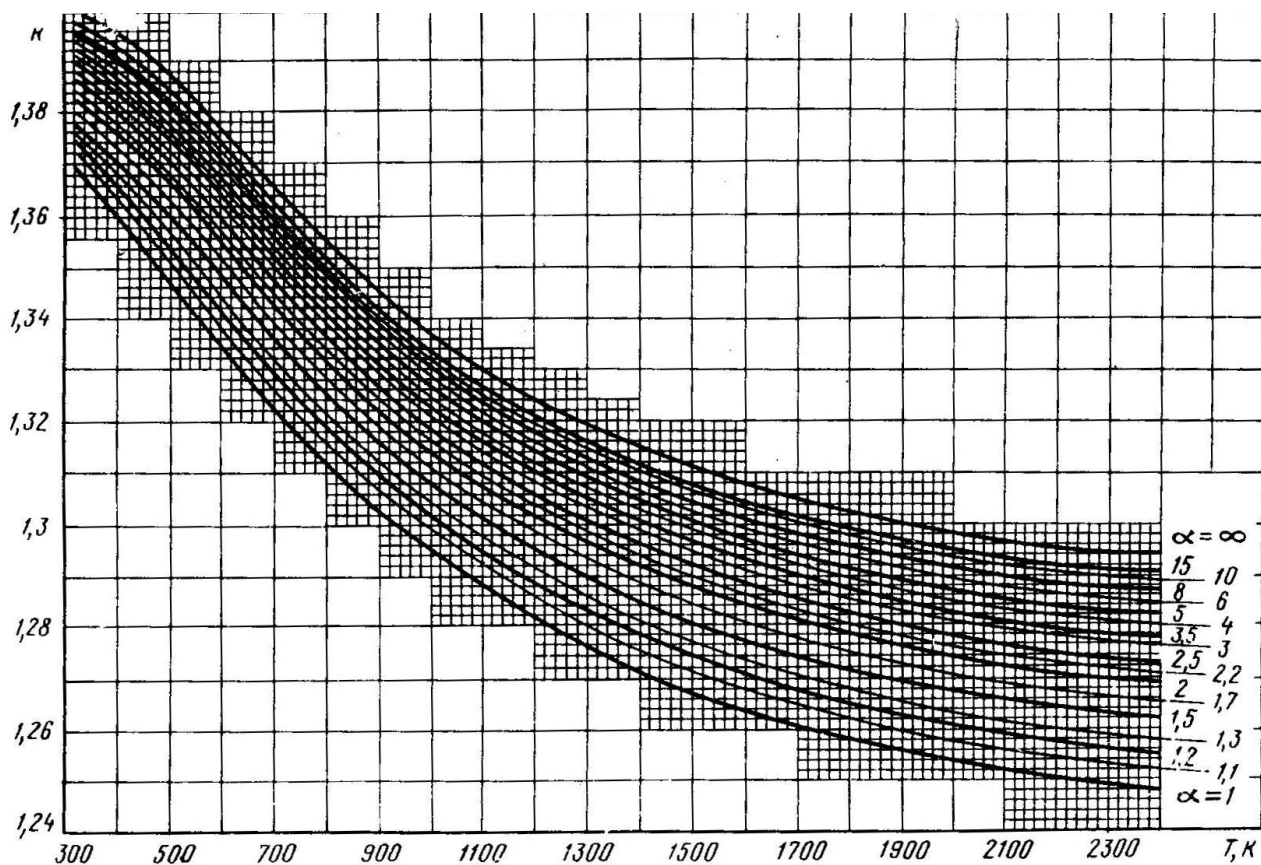


Рисунок 2- Истинный показатель адиабаты

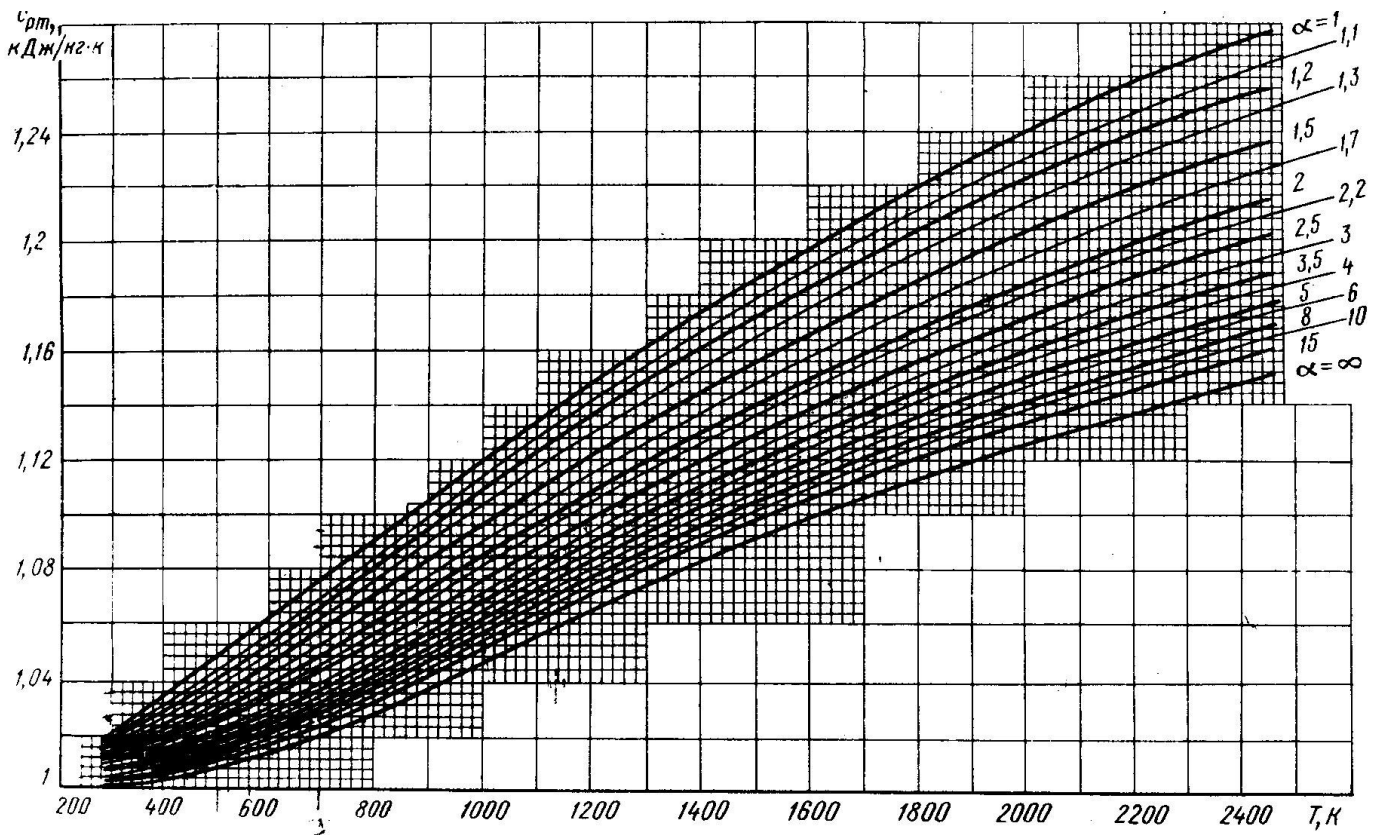


Рисунок 3- Средняя теплоемкость для продуктов сгорания

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ

1. Борьба с шумом на производстве: Справочник I под ред. Юдина Е.Я. , - М.: Машиностроение , 1985. - 400с.
2. Костюк А.Г. , Шерстюк А.Н. Газотурбинные установки. - М : Высшая школа , 1979. - 254 с.
3. Ревзин Б.С. Газотурбинные газоперекачивающие агрегаты. - М. Недра,1986.- 212 с.
4. Стационарные газотурбинные установки под ред. Арсеньева Л.В., Тырышкина В.Г. - Л: Машиностроение, 1989. - 543 с.