

УДК 537

Сынчиков Дмитрий Сергеевич,
студент Высшей школы энергетики нефти и газа,
ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) Федеральный университет
имени Ломоносова»

РАСЧЕТ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО ЦИКЛА ПРОСТОЙ ГТУ

Аннотация. В данной статье пойдет речь о расчете и анализе параметров газотурбинной установки. Газотурбинная установка работает по циклу Брайтона, который состоит из двух изобарных и двух адиабатных процессов.

Актуальность рассматриваемой темы заключается в том, что газотурбинные установки занимают важное место в современной промышленности, являясь преобразователи тепловой энергии газа в механическую энергию вращения. И для нормального функционирования такой установки необходим термодинамический расчет.

Ключевые слова: термодинамический расчет, газотурбинная установка, цикл Брайтона, изобарный процесс, адиабатный процесс, максимальная полезная внутренняя работа.

Перед началом работы зададимся исходными значениями: $k = 1,38$; $n_k = 0,97$; $n_T = 0,92$; $N_e = 5000$; $Q_H = 45000$; $T_3 = 1473$; $T_1 = 288$.

Согласно положениям термодинамики для изоэнтропного расширения и сжатия [1]:

$$m = \frac{k-1}{k} \quad (1)$$
$$m = \frac{1,38-1}{1,38} = 0,275$$

Степень повышения температуры в цикле:

$$\tau = \frac{T_3}{T_1} \quad (2)$$
$$\tau = \frac{1473}{288} = 5,11$$

Максимальная степень повышения давления:

$$\beta_0 = (\tau \cdot n_T \cdot n_k)^{\frac{1}{m}} \quad (3)$$
$$\beta_0 = (5,11 \cdot 0,92 \cdot 0,97)^{\frac{1}{0,275}} = 247,5$$

Максимальная полезная внутренняя работа и соответствующая ей степень повышения давления:

$$\beta_l = (\tau \cdot n_T \cdot n_k)^{\frac{1}{2m}} \quad (4)$$
$$l_{imax} = \frac{C_p \cdot T_1}{n_k} \cdot (\sqrt{\tau \cdot n_T \cdot n_k} - 1)^2 \quad (5)$$

$$\beta_l = (5,11 \cdot 0,92 \cdot 0,97)^{\frac{1}{2 \cdot 0,275}} = 15,72$$
$$l_{imax} = \frac{1,15 \cdot 288}{0,97} \cdot (\sqrt{5,11 \cdot 0,92 \cdot 0,97} - 1)^2 = 440,21 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Производим расчет для диапазона β с шагом 0,1, в котором будет совершаться полезная работа.



$$n_i = \frac{\tau((1 - \beta^{-m}) \cdot n_T - \frac{(\beta^m - 1)}{(\tau \cdot n_K)})}{\tau - 1 - \frac{(\beta^m - 1)}{n_K}} \cdot n_{КС} \quad (6)$$

Результаты сводим в таблицу №1.

Таблица №1

Результаты расчетов по формуле 6.

Шаг	Степень повышения давления, β	Внутренний КПД, n_i
0,1	1	0
	1,1	0,022882284
	1,2	0,043221191
	1,3	0,061476588
	1,4	0,077997565
	1,5	0,093054871
	1,6	0,106862387
	1,7	0,119591774
	1,8	0,131382727
	1,9	0,142350328
	2	0,152590412

	60,3	0,519028824
	60,4	0,5190296
	60,5	0,519030055
	60,6	0,519030191
	60,7	0,519030009
60,8	0,519029509	
60,9	0,519028692	

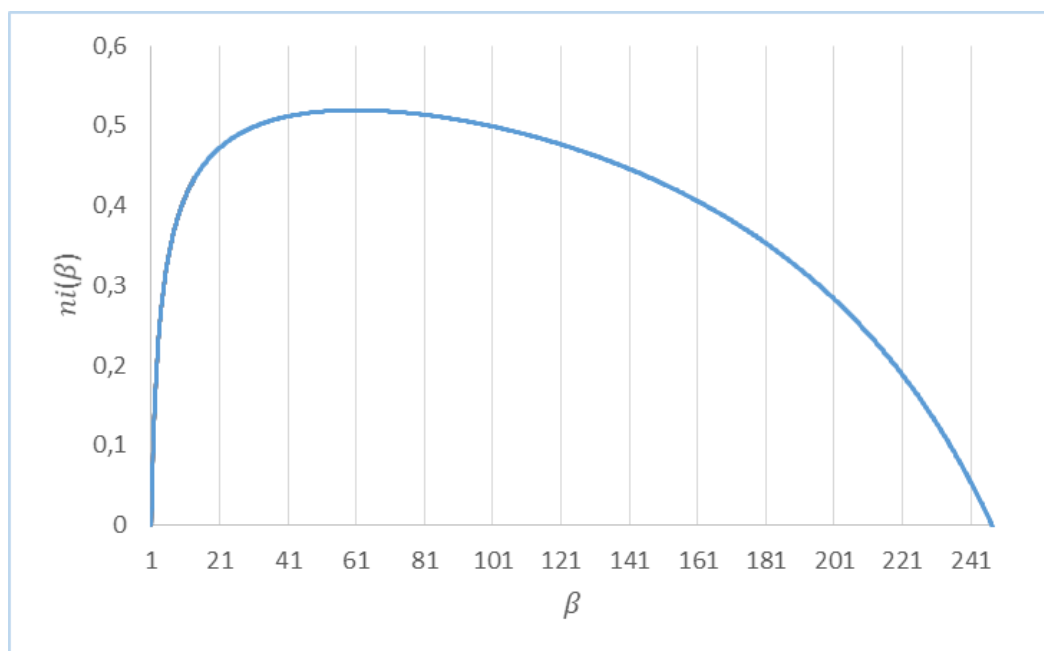


Рисунок 1 – График зависимости внутреннего КПД от степени повышения давления



По графику определим максимальный внутренний КПД и соответствующую ему степень повышения давления:

$$n_i = 0,519, \beta_n = 60,6$$

Далее определение параметров ГТУ ведется при найденном значении β_n .

Температура на выходе из компрессора:

$$T_2 = T_1 \cdot \left(1 + \frac{(\beta^m - 1)}{n_k}\right) \quad (7)$$

$$T_2 = 288 \cdot \left(1 + \frac{(60,6^{0,275} - 1)}{0,97}\right) = 910,4 \text{ K}$$

Температура на выходе из турбины:

$$T_4 = T_3 \cdot (1 - (1 - \beta^{-m}) \cdot n_t) \quad (8)$$

$$T_4 = 1473 \cdot (1 - (1 - 60,6^{-0,275}) \cdot 0,92) = 555,53 \text{ K}$$

Внутренняя удельная работа в компрессоре:

$$l_k = C_p \cdot T_1 \cdot \frac{(\beta^m - 1)}{n_k} \quad (9)$$

$$l_k = 1,15 \cdot 288 \cdot \frac{(60,6^{0,275} - 1)}{0,97} = 715,73 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Внутренняя удельная работа в турбине:

$$l_t = C_p \cdot T_3 \cdot (1 - \beta^{-m}) \cdot n_t \quad (10)$$

$$l_t = 1,15 \cdot 1473 \cdot (1 - 60,6^{-0,275}) \cdot 0,92 = 1055,093 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Внутреннюю удельную работу в цикле:

$$l_i = l_t - l_k \quad (11)$$

$$l_i = 1055,093 - 715,73 = 339,367 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Коэффициент полезной работы:

$$\varphi = 1 - \frac{\beta^m}{\tau \cdot n_t \cdot n_k} \quad (12)$$

$$\varphi = 1 - \frac{60,6^{0,275}}{5,11 \cdot 0,92 \cdot 0,97} = 0,321$$

Эффективная удельная работа:

$$l_e = l_t \cdot n_{\text{тм}} - \frac{l_k}{n_{\text{км}}} \quad (13)$$

$$l_e = 1055,093 \cdot 0,98 - \frac{715,73}{0,97} = 296,129 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Механический КПД:

$$n_m = \frac{l_e}{l_i} \quad (14)$$

$$n_m = \frac{296,129}{339,367} = 0,873$$

Эффективный КПД:

$$n_e = n_m \cdot n_i \quad (15)$$

$$n_e = 0,873 \cdot 0,519 = 0,453$$

Расход рабочего тела:

$$G = \frac{N_e}{l_e} \quad (16)$$



$$G = \frac{5000}{296,129} = 16,885 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Внутренняя мощность ГТУ [2]:

$$N_i = G \cdot l_i \quad (17)$$
$$N_i = 16,885 \cdot 339,367 = 5730,048 \text{ кВт}$$

Удельный эффективный расход рабочего тела:

$$d_e = \frac{3600}{l_e} \quad (18)$$
$$d_e = \frac{3600}{296,129} = 12,157 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$$

Удельный эффективный расход теплоты:

$$q_e = \frac{3600}{n_e} \quad (19)$$
$$q_e = \frac{3600}{0,453} = 7948,737 \frac{\text{кДж}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$$

Удельный эффективный расход топлива:

$$b_e = \frac{3600}{Q_H \cdot n_e} \quad (20)$$
$$b_e = \frac{3600}{45000 \cdot 0,453} = 0,177 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$$

Расход топлива:

$$B = \frac{N_e}{Q_H \cdot n_e} \quad (21)$$
$$B = \frac{5000}{45000 \cdot 0,453} = 0,245 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Список литературы:

- 1 Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций [Текст]: учебное пособие / С. В. Цанев, В. Д. Буров, А. Н. Ремезов ; ред. С. В. Цанев. – 3-е изд., стер. – Москва: МЭИ, 2009. – 584 с.
- 2 Газотурбинные установки [Текст]: методические указания к выполнению курсовой работы / С. В. Карпов; сост. С. В. Карпов; Арх. гос. тех. ун-т. - Архангельск : Изд-во АГТУ, 2009. - 42 с.

