

Всероссийская олимпиада студентов «Я – профессионал» 2019-2020 г.
по направлению «Теплоэнергетика и теплотехника»
Категория участия: «Бакалавриат»

Задание заключительного этапа

Часть 1 (максимально 50 баллов)

Парогазовая установка (ПГУ) включает в себя газотурбинную установку (ГТУ) для привода электрогенератора, котел-утилизатор и паротурбинную установку (ПТУ) со своим электрогенератором.

ГТУ рассчитана для расхода воздуха на входе в компрессор $G_b=500$ кг/с. ГТУ работает по циклу со ступенчатым сжатием в компрессорах низкого (процесс 1-2) и высокого (процесс 3-4) давления, ступенчатым расширением в турбинах высокого (процесс 5-6) и низкого (процесс 7-8) давления. Отработавшие газы ГТУ поступают в котел-утилизатор с параметрами точки 8. Параметры уходящих газов после котла-утилизатора – состояние 9.

Во второй камере сгорания расположена теплообменная поверхность, внутри которой перегревается пар, поступающий в паровую турбину с параметрами точки 10. Отработавший в турбине пар с параметрами точки 11 поступает в конденсатор, где конденсируется при постоянном давлении p_{11} (конденсат – точка 12). Конденсат питательным насосом подается на вход котла-утилизатора (точка 13). В котле-утилизаторе теплота передается рабочему телу паровой турбины, которое с параметрами точки 14 поступает во вторую камеру сгорания.

Таблица. Параметры газа, пара и воды в узловых точках действительного цикла

Параметры	Точки								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
p, бар	1,013	4,36	4,31	19,0	18,7	4,5	4,3	1,07	1,01
t, °C	15	183,9	20	191,8	1350	918	1350	929,6	128
h, кДж/кг	10,3	184,9	20,1	193,9	1607,7	1048,9	1607,7	1014,0	128,5

Параметры	Точки				
	10	11	12	13	14
p, бар	294	0,034	0,034	372	343
t, °C	1000	26,4		31	550
h, кДж/кг		2549			

1. Начертите схему установки и действительный цикл парогазовой установки в Ts -диаграмме. Нанесите на них цифры, соответствующие узловым точкам действительного цикла.
2. Дополните постановку задачи допущениями и необходимыми условиями.
3. Рассчитайте для парогазового действительного цикла:
 - а) параметры воды и пара в характерных точках цикла;
 - б) расход пара (G_p , кг/с);

- в) количество подводимой теплоты (Q_1 , кВт) отводимой теплоты (Q_2 , кВт) в реальном цикле ПГУ;
 - г) эффективную мощность, затрачиваемую на привод компрессора ГТУ, МВт;
 - д) эффективную мощность газовой турбины, МВт;
 - е) мощность питательного насоса, если адиабатический КПД насоса $\eta_n=0,8$;
 - ж) электрическую мощность ГТУ, ПТУ и ПГУ;
 - з) значения абсолютного электрического КПД ГТУ, ПТУ и парогазовой установки ($\eta_{э}$);
 - и) удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии, кг у.т./кВт*ч).
4. Сравните потери теплоты в конденсаторе и камере сгорания. Что можно сказать о потерях эксергии в этих же узлах ?

Часть 2 (максимально 20 баллов)

В конденсаторе парогазовой установки, рассмотренной в части 1 задания, водяной пар при давлении p_{11} конденсируется на поверхности труб, внутри которых движется охлаждающая вода. Температура воды на входе в конденсатор 12 °С, минимальный температурный напор конденсатора составляет 5°С, средний коэффициент теплопередачи от пара к воде равен 3500 Вт/(м²К), внутренний диаметр трубок 19 мм, скорость воды в трубках 1,2 м/с. Коэффициент трения трубок $\lambda=0,03$; коэффициенты местных сопротивлений: на входе и выходе из трубок $\zeta_1 = 1,5$; на повороте в водяной камере $\zeta_{пов} = 2,5$.

1. Определите

- а) количество теплоты, передаваемой от конденсирующегося пара к воде (Q_k , МВт);
- б) температуру воды на выходе из конденсатора ($t_{в2}$, °С);
- в) кратность охлаждения;
- г) площадь поверхности теплообмена конденсатора (F , м²);
- д) количество трубок двухходового конденсатора ($n_{тр}$, шт.);
- е) среднюю длину трубок ($L_{тр}$, м);
- ж) гидравлическое сопротивление трубного пучка по воде ($\Delta p_{тр}$, Па).

2. Определите предельную мощность паротурбинной установки в составе ПГУ (часть 1) с учетом влияния теплового сброса на увеличение температуры воды в природном источнике, расход воды в котором равен 4500 кг/с.

Примечание. При использовании прямоточной системы водоснабжения с источником, являющимся объектом питьевого и культурно-бытового значения, необходимо учесть влияние теплового сброса на увеличение температуры воды в природном источнике; оно не должно превышать 3°С.

Часть 3 (максимально 10 баллов)

Железобетонная дымовая труба футерована внутри огнеупорным кирпичем (рис. 2). Известны: внутренний $d_2=800$ мм и наружный $d_3=1300$ диаметры трубы; температуры на внутренней $t_1=425$ °С и наружной $t_2=200$ °С поверхностях

футеровочного слоя, а также теплопроводности стенки трубы $\lambda_2=1,27 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$ и слоя футеровки $\lambda_1=0,5 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$.

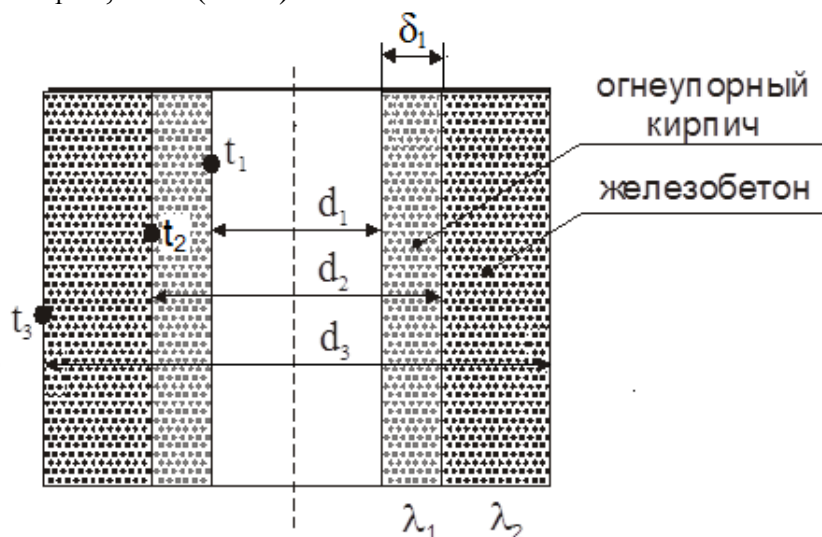


Рис. 2. Продольный разрез дымовой трубы

Определить толщину огнеупорного кирпича (δ_1) и температуру наружной поверхности трубы (t_3) из условия, что поток тепла, рассеиваемый в окружающую среду поверхностью трубы длиной 1 м, составляет $Q=2000 \text{ Вт/м}$.

Часть 4 (максимально 10 баллов)

В сетевом подогревателе паром из отбора турбины нагревается сетевая вода.

Выполните вывод уравнения, которое связывает минимальный температурный напор на выходе подогревателя с указанными ниже величинами:

- коэффициент теплопередачи k ;
- массовый расход нагреваемой воды G ;
- средняя теплоемкость воды c_{θ} ;
- площадь поверхности теплообмена подогревателя F ;
- температура насыщения конденсирующегося пара t_s ;
- температура воды на входе в подогреватель $t_{\theta.вх}$.

Определите действующее напряжение (σ , МПа), возникающее в цилиндрической стенке корпуса подогревателя из-за разницы давления пара в корпусе $p = 0,35 \text{ МПа}$ и атмосферного давления. Известны: внутренний диаметр $D_{вн}=4,0 \text{ м}$ и толщина стенки $\delta = 20 \text{ мм}$ корпуса.

Часть 5 (максимально 10 баллов)

Определить расход и скорость истечения воздуха из резервуара в атмосферу через отверстие диаметром 20 мм, если воздух в резервуаре находится под давлением $p_0=0,5 \text{ МПа}$ при температуре 30 °C .

Примечания:

- газовая постоянная воздуха равна $R_g = 287 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$;
- удельную изобарную теплоемкость воздуха принять равной $1,0035 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$.