

### 3.2 Задание по всему курсу

#### 3.2.1 Задание по варианту

Студент выбирает свое задание по последним двум цифрам зачетной книжки или при помощи преподавателя.

#### Вариант 1

1. Аналитическое выражение первого закона термодинамики;
2. Влажный воздух. Абсолютная влажность, влагосодержание и относительная влажность воздуха;
3. Задача: В канале произвольной формы течет воздух в количестве 5 кг/с. На входе в канал энтальпия газа, скорость потока и высота входного сечения над произвольной горизонтальной плоскостью соответственно равны:  $h_1=293$  кДж/кг,  $\omega_1=30$  м/с и  $x_1=30$  м, на выходе из канала  $h_2=300$  кДж/кг,  $\omega_2=15$  м/с и  $x_2=10$  м. Протекая в канале, газ получает извне энергию в форме теплоты в количестве 30 кДж/с. Какую техническую работу совершает поток газа?
4. Задача: Воздух с параметрами  $t_1=15^\circ\text{C}$ ,  $p_1=1$  (кг×с)/см<sup>2</sup> и  $d_1=10$  г/(кг×с) сжимается с отводом теплоты. Параметры воздуха в конце процесса сжатия  $t_2=60^\circ\text{C}$ ,  $p_2=7$  (кг×с)/см<sup>2</sup>. Определить относительную влажность в конце процесса сжатия?

#### Вариант 2

1. Термодинамический процесс, уравнение состояния;
2. Основные параметры воды и водяного пара, процессы изменения состояния водяного пара в  $p$ - $v$ -,  $T$ - $s$ - и  $i$ - $s$ - диаграммах;
3. Задача: Известно, что в цикле с подводом теплоты в процессе  $p = \text{const}$  при начальных параметрах  $p_1=0,0833$  МПа и  $t_1=25^\circ\text{C}$  подведенная теплота составляет 773 кДж/кг;  $\varepsilon=14$ . Требуется определить термический к.п.д. и полезную работу за цикл, отнесенную к 1 кг рабочего тела. Рабочее тело обладает свойствами воздуха?
4. Задача: В барабане котельного агрегата находится кипящая вода и над ней водяной пар под давлением  $p = 9$  МПа. Масса воды  $m = 5000$  кг. Объем барабана  $V=8$  м<sup>3</sup>. Какова масса пара, находящегося над зеркалом испарения, если пар считать сухим насыщенным?

#### Вариант 3

1. Обобщенный термодинамический цикл Карно. Регенерация теплоты;
2. Что такое дроссельный эффект?
3. Задача: Теплоэлектроцентрalf отдает на производственные нужды заводу  $D_{\text{пр}}=20\,000$  кг/ч пара при  $p=0,7$  МПа и  $x=0,95$ . Завод возвращает конденсат в количестве 60 %  $D_{\text{пр}}$  при температуре  $t_{\text{возвр.}}=70^\circ\text{C}$ . Потери конденсата покрываются химически очищенной водой, имеющей температуру

$t_{\text{хим}}=90^{\circ}\text{C}$ . Сколько килограммов топлива в час нужно было бы сжечь в топке парового котла, работающего с  $\eta_t=0,8$ ; если бы этот паровой котел специально вырабатывал пар, нужный заводу и если теплота сгорания топлива  $Q^p_n = 30$  МДж/кг?

4. Задача: Определить скорость струи пара на выходе из сопла Лавала и потерю кинетической энергии вследствие трения, если состояние пара на входе в сопло определяется давлением  $p_1=6$  МПа и температурой  $t_1=450^{\circ}\text{C}$ ; давление на выходе из сопла  $p_2=1,2$  МПа, скоростной коэффициент сопла 0,94, начальная скорость  $\omega_1=200$  м/с.

#### Вариант 4

1. Что такое эксэргия? Эксэргия рабочего тела и теплоты.

2. Циклы компрессорных машин.

3. Задача: Определить секундный массовый расход окиси углерода и скорость истечения ее из суживающегося сопла, если известно, что на входе в сопло газ имеет параметры  $p_0=0,5$  МПа и  $t_0=680^{\circ}\text{C}$ . Давление среды, в которую газ вытекает,  $p_{\text{ср}}=0,3$  МПа. Площадь выходного сечения сопла  $f=1$  см<sup>2</sup>. Коэффициент скорости равен 1. Подсчитать скорость звука в выходном сечении. Задачу решить при помощи таблиц термодинамических свойств газов, учитывая зависимость энтальпии от температуры.

4. Задача: Газотурбинная установка (ГТУ) работает по циклу с подводом теплоты при  $p = \text{const}$ . Степень повышения давления  $B=12$ . Рассчитать термический к.п.д. ГТУ для двух случаев: 1) рабочим телом является воздух; 2) рабочим телом является гелий.

#### Вариант 5

1. Второй закон термодинамики. Равновесность и обратимость процессов.

2. Термодинамические методы сравнения циклов тепловых двигателей.

3. Задача: В двигателе Дизеля топливо, впрыскиваемое в цилиндр, самовоспламеняется при соприкосновении со сжатым воздухом, имеющим температуру большую, чем температура воспламенения топлива. Определить минимальную необходимую степень сжатия  $\varepsilon=v_1/v_2$  и давление в конце сжатия  $p_2$ , если температура воспламенения топлива равна  $630^{\circ}\text{C}$ . Перед началом сжатия воздух в цилиндре имеет параметры  $p_1=0,097$  МПа,  $t_1=60^{\circ}\text{C}$ . Сжатие считать обратимым адиабатным. Задачу решать, не учитывая зависимости теплоемкости от температуры и принимая  $k=1,4$ .

4. Задача: Сжатый воздух вытекает из суживающегося сопла в среду с давлением  $p_{\text{ср}}=0,09$  МПа. Начальное давление воздуха  $p_0=2,5$  МПа, температура  $t_0=27^{\circ}\text{C}$ . Расход воздуха составляет 0,5 кг/с, скоростной коэффициент сопла  $\gamma = 0,9$ . Определить площадь выходного сечения и скорость истечения?

## Вариант 6

1. Водяной пар и его свойства. Основные понятия и определения Ts-, is-диаграммы водяного пара.

2. Уравнение энергии газового потока. Основные закономерности соплового и диффузорного адиабатного течения газа.

3. Задача: В трубе течет водяной пар при давлении  $p=2$  МПа и степени сухости  $x=0,96$  со скоростью  $\omega=40$  м/с. Расход пара  $m = 5000$  кг/ч. Определить внутренний диаметр трубы.

4. Задача: Определить часовую нормальную производительность одноступенчатого неохлаждаемого компрессора  $V_n$ , м<sup>3</sup>/ч, а также полный объем цилиндра  $V$ , если известны: параметры всасываемого воздуха  $p_1 = 0,098$  МПа и  $t_1 = 20^\circ\text{C}$ ; степень повышения давления  $B=8$ ; эффективный  $\eta = 0,68$ ; частота вращения вала  $n=300$  об/мин.; коэффициент наполнения, равный объемному коэффициенту  $0,883$ ; мощность на валу компрессора  $N=52$  кВт.

## Вариант 7

1. Цикл Карно. Обратный обратимый цикл Карно.

2. Газовые смеси.

3. Задача: Определить удельный объем воды при  $p_2=10$  МПа и  $t_2=180^\circ\text{C}$ , учитывая, что при  $p_1=25$  МПа и  $t_1=50^\circ\text{C}$  он известен ( $v_1=0,001011$  м<sup>3</sup>/кг). Сравнить рассчитанное значение с табличным.

*Указание.* Использовать соотношение  $v_2/v_1=\omega_2/\omega_1$ , т.е. условие, что объемы вещества при разных параметрах пропорциональны их приведенным объемам при тех же приведенных параметрах.

4. Задача: Определить мощность, необходимую на создание в аэродинамической трубе диаметром 12 см скорости потока, равной скорости звука при  $10^\circ\text{C}$  и давлении 0,7 МПа, считая  $\eta$  винтомоторного агрегата равным 45%.

## Вариант 8

1. Физический смысл и свойства энтропии.

2. Циклы парогазовых установок.

3. Задача: Определить эксэргию 1 кг газов, входящих в турбину ГТУ (газотурбинной установки) при параметрах  $p=1,2$  МПа;  $t=700^\circ\text{C}$ . Параметры среды:  $p_0=0,11$  МПа,  $t_0=15^\circ\text{C}$ . Рассчитать теоретическую работу адиабатного расширения газов в потоке (располагаемую работу турбины) от начальных параметров ( $p$ ,  $t$ ) до давления  $p_0$ . Сопоставить значения эксэргии потока и располагаемой работы и проанализировать полученный результат. Газ считать идеальным, подчиняющимся свойствам воздуха. Для расчета воспользоваться

таблицами. Эксергия больше располагаемой работы потому, что из турбины газ выходит с температурой большей, чем температура среды  $t_0$ .

4. Задача: Начальное состояние влажного воздуха при атмосферном давлении задано параметрами:  $t=25^{\circ}\text{C}$ ,  $\eta =70\%$ . Воздух охлаждается до температуры  $15^{\circ}\text{C}$ . Определить, сколько влаги выпадет из каждого килограмма воздуха.

#### Вариант 9

1. Статический смысл II закона термодинамики.

2. Циклы холодильных машин.

3. Задача: К питательной воде, вводимой в прямоточный паровой котел при  $p=24$  МПа и  $t=350^{\circ}\text{C}$  в количестве  $D=900 \times 10^3$  кг/ч, от топочных газов подводится  $Q=1600$  ГДж/ч теплоты. Определить температуру пара на выходе из парового котла, его энтальпию и внутреннюю энергию. Падением давления при протекании воды и пара по трубам пренебречь.

Представить процесс в  $T$ -,  $s$ - и  $h$ ,  $s$ - диаграммах.

4. Задача: Определить термический к.п.д. теплового двигателя, работающего по обратимому циклу Карно. Температура подвода тепла  $500^{\circ}\text{C}$ , температура отвода тепла  $20^{\circ}\text{C}$ . Определить также, сколько подводится и сколько отводится теплоты в этом двигателе, если его мощность  $N=5$  МВт.

#### Вариант 10

1. Термический КПД цикла Ренкина. Влияние параметров пара на термический КПД цикла Ренкина.

2. Циклы атомных электростанций.

3. Задача: Стальной шар массой 10 кг при  $500^{\circ}\text{C}$  погружается в сосуд с 18 кг воды, температура которой равна  $15^{\circ}\text{C}$ . Определить изменение энтропии системы в этом процессе. Считать, что тепловые потери отсутствуют. Теплоемкость стали принять равной  $0,5129$  кДж/(кг $\times$ К), теплоемкость воды  $4,187$  кДж/(кг $\times$ К).

4. Задача: Паротурбинная установка работает по циклу Ренкина с начальными параметрами  $p_1=10$  МПа и  $t_1=530^{\circ}\text{C}$ . Давление в конденсаторе  $p_2=40$  гПа. Определить термический к.п.д. цикла Карно в том же интервале температур.

#### Вариант 11

1. Что такое комбинированное сопло Лаваля и для чего оно применяется?

2. Методы повышения термического КПД газотурбинной установки.

3. Задача: В сушильной установке производится подсушка топлива с помощью воздуха при атмосферном давлении. От начального состояния с температурой  $t=20^{\circ}\text{C}$  и относительной влажностью  $\phi_1=40\%$  воздух предварительно подогревается до температуры  $80^{\circ}\text{C}$  и далее направляется в

сушильную камеру, где в процессе высушивания топлива воздух охлаждается до  $35^{\circ}\text{C}$ . Рассчитать необходимое количество теплоты  $q$  для нагревания 1 кг воздуха, параметры воздуха на выходе из сушильной камеры и количество воды, которое отбирает каждый килограмм воздуха от топлива. Считать, что тепловые потери отсутствуют. Определить также, какое максимальное количество воды мог бы унести с собой 1 кг воздуха, если бы он направлялся в сушильную камеру без предварительного подогрева.

4. Задача: Самолет летит со скоростью 900 км/ч при температуре воздуха  $10^{\circ}\text{C}$ . В дальнейшем скорость самолета снижается до 800 км/ч при температуре воздуха  $0^{\circ}\text{C}$ . Определить, насколько изменится термический  $\eta$  цикла прямоточного воздушно-реактивного двигателя, стоящего на самолете.

## Вариант 12

1. Уравнение Клапейрона – Клазиуса.  $P_v$ -,  $T_s$ -,  $i_s$  – диаграммы водяного пара.

2. Циклы холодильных машин.

3. Задача: Воздушная холодильная машина должна обеспечить температуру в охлаждаемом помещении  $t_{\text{охл}}=5^{\circ}\text{C}$  при температуре окружающей Среды  $t_0=20^{\circ}\text{C}$ . Холодопроизводительность машины 840 МДж/ч. Давление воздуха на выходе из компрессора  $p_2=0,5$  МПа, давление в холодильной камере  $p_1=0,1$  МПа. Определить мощность двигателя для привода машины, расход воздуха, холодильный коэффициент и количество теплоты, передаваемое окружающей среде. Подсчитать холодильный коэффициент машины, работающей по циклу Карно в том же интервале температур. Представить цикл в  $T, s$  – диаграмме.

4. Задача: В двигателе Дизеля топливо, впрыскиваемое в цилиндр, самовоспламеняется при соприкосновении со сжатым воздухом, имеющим температуру большую, чем температура воспламенения топлива. Определить минимальную необходимую степень сжатия  $\varepsilon=v_1/v_2$  и давление в конце сжатия  $p_2$ , если температура воспламенения топлива равна  $630^{\circ}\text{C}$ . Перед началом сжатия воздух в цилиндре имеет параметры  $p_1=0,097$  МПа,  $t_1=60^{\circ}\text{C}$ . Сжатие считать обратимым адиабатным. Задачу решать, не учитывая зависимости теплоемкости от температуры и принимая  $k=1,4$ .

## Вариант 13

1. Термодинамические процессы изменения состояния идеального газа.

2. Закон Гесса, закон Кирхгофа.

3. Задача: Водяной пар движется в трубе с малой скоростью. Найти эксэргию 1 кг пара, если он имеет параметры  $p=13$  МПа и  $t=560^{\circ}\text{C}$ . Температура окружающей среды  $t_0=20^{\circ}\text{C}$ . Задачу решить графически при помощи  $h, s$  -

диаграммы, на которой следует построить прямую окружающей среды. Проверить результат при помощи таблиц.

4. Задача: Воздушный двигатель, использующий для работы сжатый воздух, должен развивать мощность  $N=30$  кВт. Каков часовой расход сжатого воздуха, если начальные параметры его  $p_1=2$  МПа;  $t_1=30^\circ\text{C}$ . Давление в конце адиабатного расширения  $p_2=0,098$  МПа.

#### Вариант 14

1. Равновесность и обратимость процессов.

2. Что такое идеальный поршневой компрессор, какова его индикаторная диаграмма и как рассчитывается его работа?

3. Задача: Определить изменение энтропии в процессе испарения 1 кг воды при температуре, равной  $100^\circ\text{C}$ , если известно, что теплота парообразования  $r=2257$  кДж/кг.

4. Задача: В сосуде объемом  $V=500$  см<sup>3</sup> находится в равновесии смесь сухого насыщенного пара и кипящей воды общей массой  $m=0,05$  кг. Температура внутри сосуда  $t=310^\circ\text{C}$ . Найти степень сухости смеси.

#### Вариант 15

1. Математическое выражение II закона термодинамики. Энтропия.

2. Влияние основных параметров пара на термический к.п.д. цикла Ренкина.

3. Задача: Воздух в количестве 3 м<sup>3</sup> расширяется политропно от  $P_1 = 5,4$  бар и  $t_1 = 45^\circ\text{C}$  до  $P_2 = 1,5$  бар. Объем, занимаемый при этом воздухом, становится равным 10 м<sup>3</sup>. Определить показатель политропы, конечную температуру, полученную работу и количество подведенного тепла.

4. Задача: Рассчитать термический к.п.д. простейшей газотурбинной установки, работающей по циклу с подводом теплоты при  $p=\text{const}$  и при следующих степенях повышения давления: 1)  $\beta_1=5$ ; 2)  $\beta_2=10$ ; 3)  $\beta_3=20$ . Считать, что рабочее тело обладает свойствами воздуха. Показатель адиабаты принять равным  $k=1,4$ .

#### Вариант 16

1. Термодинамические основы работы поршневых компрессоров.

2. Теплоемкость газов. Зависимость теплоемкости газов от температуры.

3. Задача: Воздух в количестве 0,1 м<sup>3</sup>/с при  $t=30^\circ\text{C}$  и  $p=0,1$  МПа поступает в компрессор, где сжимается, а затем протекает между трубами холодильника, в которых движется охлаждающая вода. Определить расход воды, если на выходе из компрессора воздух имеет параметры:  $t_1=200^\circ\text{C}$  и  $p_1=0,8$  МПа. Температура воздуха за холодильником  $t_2=40^\circ\text{C}$ . Вода нагревается на  $t = 20^\circ\text{C}$ . Потерями теплоты и сопротивлением трения пренебречь.

4. Задача: К питательной воде, вводимой в прямоточный паровой котел при  $p=24$  МПа и  $t=350^{\circ}\text{C}$  в количестве  $D=900 \times 10^3$  кг/ч, от топочных газов подводится  $Q=1600$  ГДж/ч теплоты. Определить температуру пара на выходе из парового котла, его энтальпию и внутреннюю энергию. Падением давления при протекании воды и пара по трубам пренебречь. Представить процесс в  $T,S$ - и  $h,s$  – диаграммах.

#### Вариант 17

1. Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания.

2. Параметры влажного воздуха.

3. Задача: В цикле поршневого двигателя внутреннего сгорания с подводом тепла при  $v = \text{const}$  степень сжатия  $\varepsilon = 5$ , степень увеличения давления  $\lambda = 1,5$ . Определить термический КПД этого цикла, а также цикла Карно, совершающегося при тех же предельных температурах. Рабочее тело – воздух. Теплоемкость принять постоянной.

4. Задача: Вода в состоянии насыщения при температуре  $t_1 = t_2 = 30^{\circ}\text{C}$  подается в насос, который изоэнтропно сжимает ее в одном случае до 3,0 МПа и во втором – до 30 МПа. Определить энтальпию 1 кг воды в конце процесса и полезную внешнюю работу насоса в обоих случаях.

#### Вариант 18

1. Действительный процесс истечения пара.

2. Циклы Отто, Дизеля, Тринклера.

3. Задача: Газотурбинная установка, в которой топливо сгорает при  $p=\text{const}$ , работает при следующих параметрах:  $t_1=12^{\circ}\text{C}$ ,  $p_1 = 0,09$  МПа, степень повышения давления  $\beta=7$ , температура газов перед соплами турбины равна  $750^{\circ}\text{C}$ . Внутренние относительные КПД турбины и компрессора:  $\eta_{oi}^T = \eta_{oi}^K = 0,8$ . Вторая установка работает при тех же параметрах, но за счет улучшения проточных частей турбины и компрессора внутренние относительные КПД были повышены до значений  $\eta_{oi}^T = \eta_{oi}^K = 0,85$ . Рассчитать значения внутренних КПД первой и второй ГТУ, выяснив тем самым влияние качества процессов сжатия и расширения на КПД установки. Принять показатель адиабаты  $k = 1,4$ . Определить также термический КПД установки.

4. Задача: Двухступенчатый поршневой компрессор сжимает воздух от давления  $p_1=0,0981$  МПа до давления  $p_2=5,88$  МПа. Сжатие политропическое с показателем  $n=1,25$ . Начальная температура воздуха  $t_1=20^{\circ}\text{C}$ , производительность компрессора  $500$  м<sup>3</sup>/ч. Определить расход охлаждающей воды на охлаждение цилиндров и промежуточного холодильника, если ее температура возрастает от  $10$  до  $30^{\circ}\text{C}$ , а также мощность двигателя на привод компрессора, если  $\eta_k = 0,65$ . Компрессор без вредного объема.

#### Вариант 19

1. Влияние основных параметров пара на термический КПД цикла Ренкина.

2. TS-, is- диаграммы водяного пара.

3. Задача: Водяной пар при прохождении через дроссельный клапан дросселируется от  $p_1=9,8$  МПа при температуре  $t_1 = 350^{\circ}\text{C}$  до  $p_2 = 0,1$  МПа. Скорость пара на выходе из дросселя равна 250 м/с. Параметры среды  $p_{\text{ср}}=0,1$  МПа,  $t_{\text{ср}}=15^{\circ}\text{C}$ . Определить температуру выходящего пара и потерю эксергии вследствие дросселирования. Начальной скоростью пара пренебречь.

4. Задача. Определить потерю эксергии вследствие теплообмена в регенеративном теплообменнике газотурбинной установки. Воздух в теплообменнике нагревается от  $t_1 = 160^{\circ}\text{C}$ , а газы охлаждаются от  $t_2 = 400^{\circ}\text{C}$  до  $t_3 = 240^{\circ}\text{C}$ . Тепловые потери теплообменника составляют 10 % теплоты, отдаваемой газом. Выхлопные газы, выходящие из турбины, и воздух считать идеальными газами, обладающими свойствами воздуха, а теплоемкость принять по молекулярно-кинетической теории. Температура окружающей среды равна  $15^{\circ}\text{C}$ . Потерю эксергии рассчитать на 1 кг проходящих газа и воздуха. Гидравлическими сопротивлениями теплообменника пренебречь.

#### Вариант 20

1. Адиабатный процесс истечения газа.

2. Цикл с промежуточным перегревом пара.

3. Задача: В цикле Дизеля топливо, впрыскиваемое в цилиндр, самовоспламеняется при соприкосновении со сжатым воздухом, имеющим температуру большую, чем температура воспламенения топлива. Определить минимальную необходимую степень сжатия и давление в конце сжатия, если температура воспламенения топлива равна  $630^{\circ}\text{C}$ . Перед началом сжатия воздух в цилиндре имеет параметры  $p_1=0,097$  МПа,  $t_1 = 60^{\circ}\text{C}$ . Сжатие считать обратимым адиабатным. Задачу решать, не учитывая зависимости теплоемкости от температуры и принимая  $k=1,4$ .

4. Задача: При постоянном давлении смешиваются две порции водяного пара. Масса пара первой порции  $m_1= 200$  кг, его параметры  $p_1 = 1,0$  МПа,  $x_1 = 0,85$ . Масса пара второй порции  $m_2 = 80$  кг, его параметры  $p_2 = p_1$  и  $x_2 = 0,10$ . Определить степень сухости пара образовавшегося в смеси и его полную энтальпию.