



Федеральное агентство по рыболовству
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»
(ФГБОУ ВО «КГТУ»)
Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота

УТВЕРЖДАЮ
Начальник УРОПС

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
ФГБОУ ВО «КГТУ»
СВЕДЕНИЯ О СЕРТИФИКАТЕ ЭП
Сертификат:
00c492b6d294c65e300cfce9fd1190837
Владелец: Мельникова Виктория Александровна
Действителен: с 25.11.2025 по 18.02.2027



Фонд оценочных средств
(приложение к рабочей программе модуля)

«ОСНОВЫ ТЕПЛОТЕХНИКИ»

основной профессиональной образовательной программы специалитета
по специальности

**26.05.07 ЭКСПЛУАТАЦИЯ СУДОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И СРЕДСТВ
АВТОМАТИКИ**

Специализация программы

**«ЭКСПЛУАТАЦИЯ СУДОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ
И СРЕДСТВ АВТОМАТИКИ»**

ИНСТИТУТ
РАЗРАБОТЧИК

Морской
Кафедра судовых энергетических установок

1 РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 1 – Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с установленными индикаторами достижения компетенций

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции	Дисциплина	Результаты обучения (владения, умения и знания), соотнесенные с компетенциями/индикаторами достижения компетенции
ОПК-2: Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, аналитические методы в профессиональной деятельности	ОПК-2.8: Применяет знания классификации материалов, металлов и сплавов, их области применения	Основы теплотехники	<u>Знать</u>: основные понятия и определения технической термодинамики, первый и второй законы термодинамики, циклы компрессорных машин, ДВС, ГТУ, паросиловых установок, холодильных машин; законы теплопередачи теплопроводностью, процессы конвективной теплоотдачи, теплообмена излучением. <u>Уметь</u>: использовать базовые знания по термодинамике и теплопередаче для решения профессиональных задач; выбирать рациональные методы решения инженерных задач. <u>Владеть</u>: методиками расчета термодинамических параметров; методиками расчета теплообмена в энергетическом оборудовании.

2 ПЕРЕЧЕНЬ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПОЭТАПНОГО ФОРМИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ) И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

2.1 Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства текущего контроля успеваемости;
- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

2.2 К оценочным средствам текущего контроля успеваемости относятся:

- тестовые задания;
- задания по темам практических занятий;

2.3 К оценочным средствам для промежуточной аттестации по дисциплине, проводимой в форме зачета, относятся:

- задания по контрольным работам;

- контрольные вопросы к зачету.

3 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ

3.1 Тестовые задания

Тестовые задания предназначены для оценки в рамках текущего контроля успеваемости знаний, приобретенных курсантами на лекционных занятиях и для измерения соответствующих индикаторов достижения компетенции.

3.1.1. Содержание оценочных средств

Тестовые задания объединены в блоки (тесты), каждый из которых соответствует теме теоретического курса. Каждый блок (тест) в зависимости от объема соответствующей темы или работы включает в себя от 5 до 51 задания (текст при необходимости с иллюстрацией), одного из следующих типов: одиночный выбор, множественный выбор, указание порядка, сопоставление, ручной ввод числа. Индивидуальные тесты формируются случайной выборкой из всего объема вопросов блока, при этом объем индивидуального теста составляет 5-10 вопросов. Время на ответ ограничено. Предусмотрена остановка теста при достижении критического количества ошибок.

3.1.2. Методические материалы, определяющие процедуры использования оценочных средств

Шкала оценивания основана на четырехбалльной системе, которая реализована в программном обеспечении.

Оценка «отлично» выставляется при правильном выполнении не менее 90% заданий.

Оценка «хорошо» выставляется при правильном выполнении не менее 80% заданий.

Оценка «удовлетворительно» выставляется при правильном выполнении не менее 60% заданий.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется при правильном выполнении менее 60% заданий.

Результаты измерений индикатора считаются положительными при правильном выполнении не менее 60% заданий.

Оценка за выполнение теста определяется количеством правильно выполненных заданий, выраженным в процентном отношении.

Лицо, использующее тестовые средства, по своему усмотрению может изменить как критерии оценивания, так и шкалу оценивания.

3.2 Типовые задания и темы практических занятий представлены в Приложении № 2.

3.2.1. Методические материалы, определяющие процедуры использования оценочных

средств

Шкала оценивания основана на двухбалльной системе.

Оценка «зачтено» выставляется при правильном выполнении не менее 70% заданий.

Оценка «незачтено» выставляется при правильном выполнении менее 70% заданий.

4 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

4.1 Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме зачета.

Перечень вопросов к зачету представлен в Приложении № 4.

4.1.1 Методические материалы, определяющие процедуры использования оценочных
средств

Шкала оценивания основана на двухбалльной системе, которая реализована в программном обеспечении.

Оценка «зачтено» выставляется при правильном выполнении не менее 70% заданий.

Оценка «незачтено» выставляется при правильном выполнении менее 70% заданий.

Результаты измерений индикатора считаются положительными при правильном выполнении не менее 70% заданий.

4.2 Задания по контрольным работам (заочная форма обучения)

Контрольная работа представляет собой перечень задач, условия которых включает собой текстовую, а при необходимости и иллюстративную часть, с числовыми значениями исходным величин и перечнем величин, для которых необходимо найти либо числовые значения величин, либо их аналитическое описание.

Типовые задачи представлены в Приложении № 3.

4.2.1 Методические материалы, определяющие процедуры использования оценочных
средств

Шкала оценивания результатов выполнения заданий основана на четырехбалльной системе.

Оценка «отлично» выставляется в случае, если для задания приведено полное теоретическое обоснование, расчеты выполнены по правильным формулам и алгоритмам и без ошибок, выводы приведены полностью и по существу, курсант (студент) понимает и может пояснить ход решения и привести экспликацию любой формулы, а также может дать развернутый и полный ответ на любой из контрольных вопросов, отчет оформлен в соответствии с установленными требованиями.

Оценка «хорошо» выставляется в случае, если теоретическое обоснование приведено

с пробелами, расчеты выполнены по правильным формулам и алгоритмам, но с некоторыми арифметическими ошибками, отчет оформлен с некоторыми нарушениями требований, однако выводы приведены полностью и по существу, а курсант понимает и может пояснить ход решения и привести экспликацию любой формулы, а также может дать ответ на любой из контрольных вопросов.

Оценка «удовлетворительно» выставляется в случае, если теоретическое обоснование приведено формально и излишне кратко, расчеты выполнены по правильным формулам и алгоритмам, но со множеством арифметических ошибок, отчет оформлен с нарушениями требований, выводы приведены не полностью, ответы на контрольные вопросы вызывают затруднения и (или) излишне лаконичны, однако курсант понимает и может пояснить ход решения и привести экспликацию любой формулы, а также может дать ответ на любой из контрольных вопросов.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется в случае, если теоретическое обоснование приведено формально и излишне кратко, или не приведено вовсе, расчеты выполнены с использованием неправильных алгоритмов и формул, отчет оформлен с нарушениями требований, выводы приведены не полностью или не приведены вовсе, курсант плохо понимает (или не понимает вовсе) и не может пояснить ход решения, а также не может ответить на контрольные вопросы.

Результаты измерений индикатора считаются положительными при положительной оценке за выполнение задания.

5 СВЕДЕНИЯ О ФОНДЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ И ЕГО СОГЛАСОВАНИИ

Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине «Основы теплотехники» представляет собой компонент основной профессиональной образовательной программы по специальности 26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики» (специализация «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики»).

Фонд оценочных средств рассмотрен и одобрен на заседании кафедры судовых энергетических установок (протокол № 10 от 27.04.2022).

Зав. кафедрой _____ И.М. Дмитриев



Приложение № 1

Тестовые задания

Вариант 1

1. Первый закон термодинамики есть частный случай закона сохранения....

1. массы веществ.
2. и превращения энергии.
3. количества движения.

2. В сосуде объемом 0.75 м^3 находится 2.5 кг углекислого газа. Удельный объем газа...

1. 3.33 кг/м^3
2. $1.875 \text{ кг} \cdot \text{м}^3$
3. $0.3 \text{ м}^3/\text{кг}$

3. В системе находится воздух с избыточным давлением $p_{\text{изб}} = 0.4 \text{ МПа}$. Атмосферное давление $p_{\text{в}} = 0.1 \text{ МПа}$. Абсолютное давление...

1. 0.5 МПа .
2. 0.3 МПа .
3. 0.25 МПа .

4. Уравнение состояния для 1 кг идеального газа....

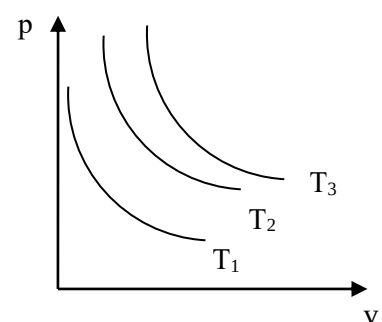
1. $p \cdot v = \text{const}$.
2. $p \cdot V = mRT$.
3. $p \cdot v = RT$.

5. Величина μR в уравнении состояния идеального газа носит название...

1. Газовой постоянной.
2. Универсальной газовой постоянной.
3. Постоянной Больцмана.

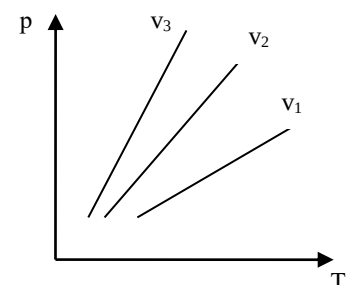
6. На диаграмме $p - V$ изображены линии постоянной температуры – изотермы. температуры T_1, T_2, T_3 отнесены друг к другу...

1. $T_1 > T_2 > T_3$.
2. $T_1 < T_2 < T_3$.
3. $T_1 = T_2 = T_3$.



7. На диаграмме $p - T$ изображены линии постоянного удельного объема – изохоры. Удельные объемы v_1, v_2, v_3 Отнесены друг к другу...

1. $v_1 > v_2 > v_3$.
2. $v_1 < v_2 < v_3$.
3. $v_1 = v_2 = v_3$.



8. При очень быстром сжатии газа в цилиндре под поршнем, параметры газа в разных точках объема различны. Такой термодинамический процесс носит название...

1. Неоднородного.
2. Неравновесного.
3. Нелинейного.

9. Уравнение состояния идеального газа...

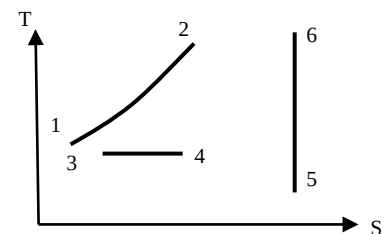
1. $pV = \text{const.}$
2. $pV = mRT.$
3. $\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT.$

10. Энтальпия (H) термодинамической системы равна...

1. $H = U + pV.$
2. $H = c_v + R.$
3. $H = U + Ts.$

11. В процессе ... теплота, подведенная к газу, больше.

1. 1-2.
2. 3-4.
3. 5-6.



12. Плотность воздуха равна 1,293 кг/м³. Удельный объем воздуха...

- 1). 1,293.
- 2). 0,923.
- 3). 0,77.

13. Если условно в объеме, который занимает смесь газов, оставить только один компонент, не изменяя температуры, то давление оставленного компонента будет равно...

1. Абсолютному давлению.
2. Парциальному давлению.
3. Избыточному давлению.

14. Сухой воздух имеет следующий массовый состав: примерно 23,2% O₂ и 76,8% N₂. Газовая постоянная смеси (R_{см}), если R_{O2} = 260 Дж/(кг·К) R_{N2} = 297 Дж/(кг·К) равна...

- 1) 288 Дж/(кг·К)
- 2) 557 Дж/(кг·К)
- 3) 8314 Дж/(кг·К)

15. 1 кг воздуха совершает цикл Карно в пределах температур t₂ = 30 °С, t₁ = 250 °С. Термический КПД цикла ...

1. $\eta_t = 0,42.$
2. $\eta_t = 0,88.$
3. $\eta_t = 0,12.$

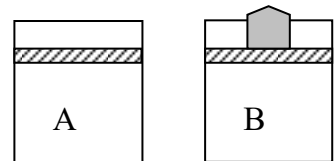
Вариант 2

1. При увеличении энтропии ($S_2 > S_1$) теплота...

1. не подводится и не отводится.
2. отводится.
3. подводится.

2. Два одинаковых цилиндра заполнены одинаковым газом и отличаются только тем, что в цилиндре А поршень закреплен, а в цилиндре В – уравновешен грузом. Начальные параметры газа (p, V, T) в обоих сосудах одинаковы. К цилиндрам подводится одинаковое количество теплоты. В цилиндре А или В будет выше температура...

1. В цилиндре А.
2. В цилиндре В.
3. Температуры газа одинаковы.



3. Идеальный газ сжимают в изотермическом процессе.

Внутренняя энергия газа изменится...

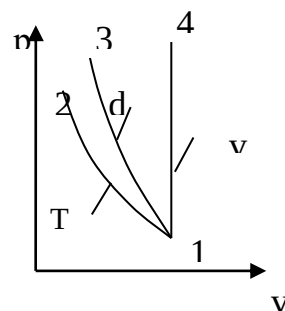
1. Увеличится
2. Уменьшится
3. Не изменится

4. Уравнение первого закона термодинамики...

1. $\Delta S = Q/T$.
2. $Q = \Delta U + L$.
3. $\Delta H = \Delta U + pV$.

5. На диаграмме $p - v$ изображены термодинамические процессы. Теплота отводится от газа в ...

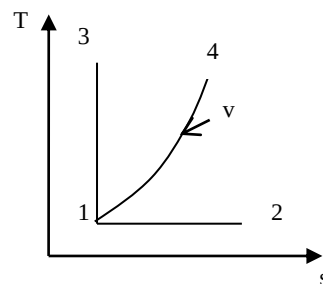
1. изотермическом процессе 1 – 2.
2. адиабатном процессе 1 – 3.
3. изохорном процессе 1 – 4.



Процессы:
1 – 2 – изотермический;
1 – 3 – адиабатный;
1 – 4 – изохорный.

6. На диаграмме $T - s$ изображены термодинамические процессы. Газ совершает работу $dL > 0$ в ...

1. изотермическом процессе 1 – 2.
2. адиабатном процессе 1 – 3.
3. изохорном процессе 1 – 4.



Процессы:
1 – 2 – изотермический;
1 – 3 – адиабатный;
1 – 4 – изохорный.

7. Для изотермического процесса уравнение первого закона термодинамики имеет вид...

1. $Q = H_2 - H_1$
2. $Q = U_2 - U_1$
3. $Q = L$

8. К газу подводится извне 120 кДж теплоты. Произведенная работа при этом составляет 100 кДж. Изменение внутренней энергии газа Δu , кДж/кг, если масса газа 0,2 кг.

1. - 1600 кДж/кг.
2. - 400 кДж/кг.
3. - 100 кДж/кг.

9. Плотность газа в сосуде, если при постоянной температуре показание манометра уменьшится от $p_1=17$ бар до $p_2=2$ бар. Атмосферное давление 1 бар.

1. Уменьшится в 8,5 раз.
2. Увеличится в 6 раз.
3. Уменьшится в 6 раз.

10. К газу подводится извне 200 кДж теплоты, изменение внутренней энергии ΔU составляет 20 кДж. Определить удельную работу, кДж/кг, если количество газа составляет 0,6 кг.

1. $\ell = 20$ кДж/кг.
2. $\ell = 300$ кДж/кг.
3. $\ell = 100$ кДж/кг.

11. Изменение энтальпии 1 кг воздуха, если его температура снизилась от 250°C до 50°C при условии, что теплоемкость не зависит от температуры. $c_v = 717,5$ Дж/(кг·K), $c_p = 1004,5$ Дж/(кг·K).

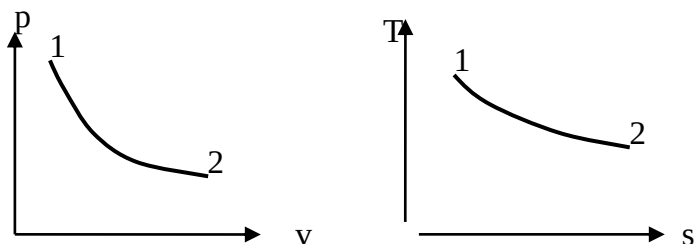
1. 200,9 кДж/кг.
2. 143,5 кДж/кг.
3. 57,4 кДж/кг.

12. Изменение внутренней энергии 1 кг воздуха, если его температура снизилась с 250°C до 50°C при условии, что теплоемкость не зависит от температуры. $c_v = 717,5$ Дж/(кг·K). $c_p = 1004,5$ Дж/(кг·K).

1. 200,9 кДж/кг.
2. 143,5 кДж/кг.
3. 57,4 кДж/кг.

13. На диаграммах $p-v$ и $T-s$ изображен термодинамический процесс 1 – 2. Значение теплоемкости газа c в процессе.

1. Теплоемкость $c > 0$.
2. Теплоемкость $c = 0$.
3. Теплоемкость $c < 0$.



14. Значения теплоемкостей c_p и c_v очень мало отличаются друг от друга для ...

1. газов.
2. жидкостей.

3. твердых тел.

15. Теплоемкость ... процесса равна нулю.

1. Изотермического.
2. Изохорного.
3. Адиабатного.

Вариант 3

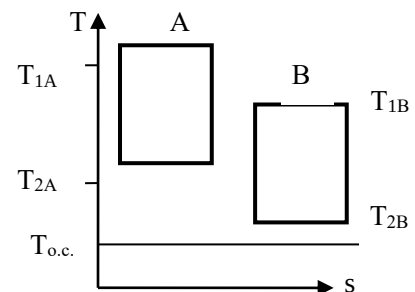
1. Холодильный коэффициент обратного цикла больше единицы:

1. Может быть
2. Не может быть
3. Всегда равен единице

2. На диаграмме $T - s$ изображены два прямых цикла Карно. Для обоих циклов разность температур источников теплоты одна та же: $(T_{1A} - T_{2A}) = (T_{1B} - T_{2B})$.

Термический коэффициент полезного действия какого из циклов выше:

1. Цикла А.
2. Цикла В.
3. Термические коэффициенты полезного действия циклов одинаковы.



3. Как изменяется внутренняя энергия рабочего тела в круговом процессе (цикле).

1. Увеличивается.
2. Уменьшается.
3. Периодически увеличивается и уменьшается, сохраняется среднее значение.

4. Аналитическое выражение для второго закона термодинамики записывается в виде $ds \geq dQ/T$. В этом выражении справедлив знак равенства для

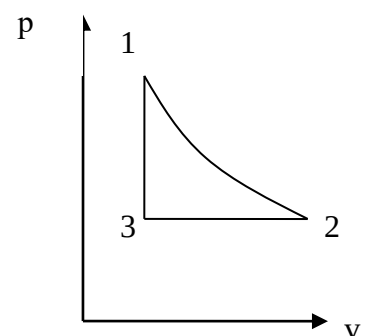
1. изотермических.
2. обратимых.
3. необратимых.

5. Аналитическое выражение второго закона термодинамики...

1. $ds \geq \delta q/T$.
2. $\delta q = du + pdv$.
3. $\delta q = dh - vdp$.

6. Изменения происходят во внешней среде, если рабочее тело участвует в круговом процессе (цикле) 1 - 2 - 3...

1. Теплота источника с высокой температурой затрачивается, получается работа.
2. Работа затрачивается, теплота передается во внешнюю среду от источника с низкой температурой.
3. Работа затрачивается, теплота передается во внешнюю среду от источника с высокой температурой.



7. Термический коэффициент полезного действия равен отношению...

1. теплоты, подведенной к рабочему телу, к работе цикла.
2. теплоты, отнятой у рабочего тела, к работе цикла.
3. работы цикла к теплоте, подведенной в цикле к рабочему телу.

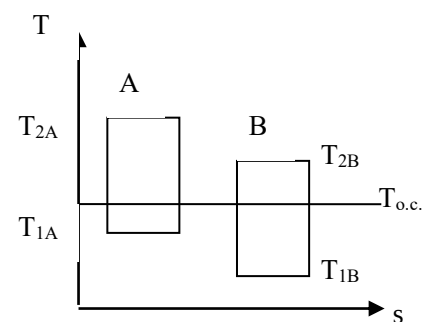
8. В результате осуществления кругового процесса получена работа, равная 90 кДж/кг, а отдано охладителю 60 кДж/кг. Определить термический КПД цикла.

1. 1,5.
2. 0,67.
3. 0,6.

9. На диаграмме $T - s$ изображены два обратных цикла Карно. Для обоих циклов разность температур источников теплоты одна та же: $(T_{1A} - T_{2A}) = (T_{1B} - T_{2B})$.

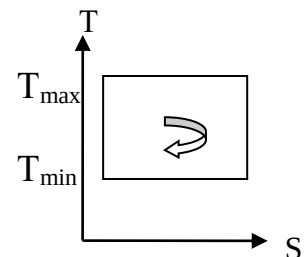
Укажите холодильный коэффициент какого из циклов выше.

1. Цикла А.
2. Цикла В.
3. Холодильные коэффициенты циклов одинаковы.



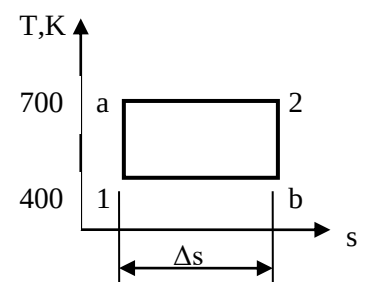
10. Термический КПД цикла Карно выражается формулой:

1. $\eta_k = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{T_{\min}}$.
2. $\eta_k = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{T_{\max}}$.
3. $\eta_k = \frac{T_{\min}}{T_{\max}}$.



11. Газ переводится из состояния 1 в состояние 2: один раз по пути 1 - а - 2, второй по пути 1 - б - 2. Температура: $T_1 = 400$ К, $T_2 = 700$ К, а изменение энтропии $0,2$ кДж/(кг·К). В ... раз теплота процесса, а - 2 отличается от теплоты процесса 1 - б.

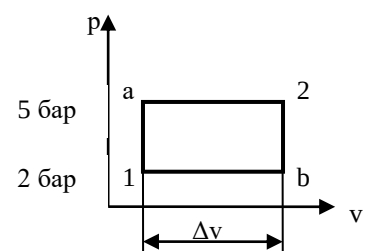
1. 1,67
2. 1,75
3. 1,25



12. Газ переводится из состояния 1 в состояние 2: один раз по пути 1-а -2, второй по пути 1-б-2. Давления: $p_1 = 2$ бар, $p_2 = 5$ бар, а изменение объема $0,05$ м³.

В работа процесса а-2, отличается от работы в процессе 1-б.

1. 5 раз
2. 2,5 раза
3. 3 раза



13. К газу в круговом процессе подведено 250 кДж/кг теплоты. Термический КПД равен 0,5. Работа, полученная в цикле...

1. 125 кДж/кг.
2. 500 кДж/кг.
3. 250 кДж/кг.

14. В цикле Карно температура подвода теплоты $T_1=1800$ К, а термический КПД равен 0,6. Теоретическая температура, при которой отводится теплота, равна...

1. 720 К.
2. 1080 К.
3. 556 К.

15. В круговом процессе количество отведенной теплоты равно 80 кДж/кг. При этом получена работа, равная 120 кДж/кг. Термический КПД цикла равен...

1. 0,6.
2. 1,5.
3. 0,67.

Приложение № 2

Темы и типовые задания для практических занятий

Темы практических занятий

- 1 Введение. Уравнения состояния идеального газа
- 2 Теплоемкость рабочих тел и ее виды
- 3 Смеси газов
- 4 Термодинамическая система и ее характеристики. 1 и 2 законы термодинамики.
- 5 Эксергия, эксергетический КПД.
- 6 Термодинамические процессы.
- 7 Циклы тепловых машин. Цикл Карно.
- 8 Циклы ДВС
- 9 Циклы ГТУ
- 10 Циклы компрессоров
- 11 Реальные газы и пары. Процесс парообразования.
- 12 Истечение газов и паров.
- 13 Циклы паросиловых установок.
- 14 Циклы холодильных установок.
- 15 Процесс теплопроводности.
- 16 Конвективный теплообмен.
- 17 Лучистый теплообмен
- 18 Процесс теплопередачи.
- 20 Теплообменные аппараты.

Типовые задания (задачи)

Задача 1. Давление воздуха по ртутному барометру равно 770 мм при 0°C . Выразить это давление в барах и паскалях.

Задача 2. Определить абсолютное давление пара в котле, если манометр показывает $p = 1,3$ бар, а атмосферное давление по ртутному барометру составляет 680 мм при $t = 25^{\circ}\text{C}$.

Задача 3. Давление в паровом котле $p = 0,4$ бар при барометрическом давлении 725 мм рт. ст. Чему будет равно избыточное давление в котле, если показание барометра повысится до 785 мм рт. ст., а состояние пара в котле останется прежним? Барометрическое давление приведено к 0°C .

Задача 4. Какой объем занимает 1 кг азота при температуре 70°C и давлении 0,2 МПа?

Задача 5. Какой объем занимает 1 кг азота при температуре 70°C и давлении 0,2 МПа?

Задача 6. Определить массу 5 м³ водорода, 5 м³ кислорода и 5 м³ углекислоты при давлении 6 бар и температуре 100°C .

Приложение № 3

Формулировки типовых задач контрольной работы (заочная форма обучения)

1. Найти абсолютное давление пара в котле, если манометр показывает $p = 0,13$ МПа. а атмосферное давление по ртутному барометру составляет $B = 680$ мм рт. ст. ($90\,660$ Па) при $t = 25^\circ \text{C}$.

Решение.

По формуле

$$p_{\text{абс}} = p_{\text{ман}} + B,$$

Показание барометра получено при температуре ртути $t = 25^\circ \text{C}$. Это показание необходимо привести к 0°C .

При измерении давления высотой ртутного столба следует иметь в виду, что показание прибора (барометра, ртутного манометра) зависит не только от давления измеряемой среды, но и от температуры ртути, так как с изменением последней изменяется также и плотность ртути. При температуре ртути выше 0°C плотность ее меньше, а следовательно, показания прибора выше, чем при том же давлении и при температуре ртути 0°C . При температуре ртути ниже 0°C будут иметь место обратные соотношения. Это следует иметь в виду при переводе давления, измеренного высотой ртутного столба, в другие единицы измерения давления. Проще всего это делается приведением высоты столба ртути к 0°C путем введения поправок на температуру ртути в приборе. Величина поправки на 1000 мм рт. ст. для различных температур указана ниже.

Температура столба ртути в $^\circ\text{C}$	0	5	10	15	20	25	30
Поправка на 1000 мм	0,00	0,87	1,73	2,50	3,45	4,31	5,17

При температуре ртути выше 0°C указанную поправку нужно вычитать из показаний прибора; при температурах ниже 0°C данную поправку нужно прибавлять к показаниям прибора.

$$B_0 = 680 - \frac{4,31 \cdot 680}{1000} = 680 - 2,93 = 677,1 \text{ мм рт. ст.} = 90270 \text{ Па.}$$

Тот же результат будем иметь, если воспользуемся уравнением

$$B_0 = B(1 - 0,000172t) = 90680 \cdot 0,9957 = 90270 \text{ Па.}$$

Тогда абсолютное давление пара в котле

$$p_{\text{абс}} = 0,13 + 0,09 = 0,22 \text{ МПа.}$$

2. Какова будет плотность окиси углерода при $t = 20^\circ \text{C}$ и $p = 94,7$ кПа, если при 0°C и $p = 101,3$ кПа она равна $1,251 \text{ кг/м}^3$?

Решение

Согласно уравнению

$$\rho_2 = \rho_1 \frac{p_2}{p_1} \cdot \frac{T_1}{T_2}.$$

Следовательно,

$$\rho_2 = 1,251 \frac{94,7}{101,3} \cdot \frac{273}{273 + 20} = 1,09 \text{ кг/м}^3.$$

3. Атмосферный воздух имеет примерно следующий массовый состав:

$$m_{O_2} = 23,2\%; m_{N_2} = 76,8\%.$$

Определить объемный состав воздуха, его газовую постоянную, кажущуюся молекулярную массу и парциальные давления кислорода и азота, если давление воздуха по барометру $B = 101\,325$ Па.

Решение

Получаем

$$r_{O_2} = \frac{\frac{m_{O_2}}{\mu_{O_2}}}{\frac{m_{O_2}}{\mu_{O_2}} + \frac{m_{N_2}}{\mu_{N_2}}} = \frac{\frac{23,2}{32}}{\frac{23,2}{32} + \frac{76,8}{28,02}} = 0,21;$$

$$r_{N_2} = \frac{\frac{m_{N_2}}{\mu_{N_2}}}{\frac{m_{O_2}}{\mu_{O_2}} + \frac{m_{N_2}}{\mu_{N_2}}} = \frac{\frac{76,8}{28,02}}{\frac{23,2}{32} + \frac{76,8}{28,02}} = 0,79 .$$

Газовую постоянную воздуха находим по уравнению

$$R_{\text{см}} = \sum_1^n m_i R_i = m_{O_2} R_{O_2} + m_{N_2} R_{N_2} = 0,232 \cdot 260 + 0,768 \cdot 295 = 287 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}.$$

Кажущуюся молекулярную массу смеси определяем из уравнения

$$\mu_{\text{см}} = \sum_1^n r_i \mu_i = r_{O_2} \mu_{O_2} + r_{N_2} \mu_{N_2} = 0,21 \cdot 32 + 0,79 \cdot 28,02 = 28,9 .$$

или из уравнения

$$R_{\text{см}} = \frac{8314}{\mu_{\text{см}}}.$$

Отсюда

$$\mu = \frac{8314}{R_{\text{см}}} = \frac{3314}{287} = 28,9.$$

Парциальные давления получим из уравнения

$$p_i = r_i p,$$

следовательно,

$$p_{\text{O}_2} = r_{\text{O}_2} p = 0,21 \cdot 101325 = 21278 \text{ Па};$$

$$p_{\text{N}_2} = r_{\text{N}_2} p = 0,79 \cdot 101325 = 80047 \text{ Па}.$$

4. Смесь газов состоит из водорода и окиси углерода. Массовая доля водорода $m_{\text{H}_2} = 0,67\%$. Найти газовую постоянную смеси и ее удельный объем при нормальных условиях.

Решение

Из уравнения

$$R_{\text{см}} = \sum_1^n m_i R_i = m_1 R_1 + m_2 R_2 = 0,0667 \cdot 4124 + 0,9333 \cdot 296,8 = 552 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}).$$

Удельный объем газовой смеси получим из характеристического уравнения

$$\nu_n = \frac{RT_n}{p_n} = \frac{552 \cdot 273}{101325} = 1,49 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

5. Вычислить среднюю теплоемкость c_{pm} для воздуха при постоянном давлении в пределах $200 - 800^\circ \text{C}$, считая зависимость теплоемкости от температуры нелинейной.

Решение

Среднюю теплоемкость определяем по уравнению

$$(c_{pm})_{t_1}^{t_2} = \frac{c_{pm2} t_2 - c_{pm1} t_1}{t_2 - t_1}.$$

Пользуясь таблицами, получим для воздуха

$$(c_{pm})_0^{800} = 1,0710 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К});$$

$$(c_{pm})_0^{200} = 1,0115 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К}).$$

отсюда

$$(c_{pm})_{200}^{800} = \frac{1,0710 \cdot 800 - 1,0115 \cdot 200}{800 - 200} = 1,091 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К}).$$

6. Воздух в количестве 6 м^3 при давлении $p_1 = 0,3 \text{ МПа}$ и температуре $t_1 = 25^\circ \text{ С}$ нагревается при постоянном давлении до $t_2 = 130^\circ \text{ С}$. Определить количество подведенной к воздуху теплоты, считая $c = \text{const}$.

Решение

Количество тепла определяется по формуле

$$Q_p = Mc_p(t_2 - t_1) = V_n c'_p(t_2 - t_1).$$

Массу газа найдем из уравнения

$$M = \frac{p_1 V_1}{RT} = \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot 6}{287 \cdot 298} = 21 \text{ кг},$$

а объем газа при нормальных условиях - из уравнения

$$V_n = \frac{p_1 V_1 T_n}{p_n T_1} = \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot 6 \cdot 273}{0,1013 \cdot 10^6 \cdot 298} = 16,3 \text{ м}^3.$$

Из таблиц имеем

$$c_p = 1,012 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К});$$

$$c'_p = 1,308 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}).$$

Следовательно,

$$Q_p = Mc_p(t_2 - t_1) = 21 \cdot 1,012 \cdot 105 = 2231 \text{ кДж},$$

или

$$Q_p = V_n c'_p(t_2 - t_1) = 16,3 \cdot 1,308 \cdot 105 = 2239 \text{ кДж}.$$

7. Найти изменение внутренней энергии 1 кг воздуха при переходе его от начального состояния $t_1 = 300^\circ \text{ С}$ до конечного при $t_2 = 50^\circ \text{ С}$. Зависимость теплоемкости от температуры принять линейной. Ответ дать в кДж.

Решение

Изменение внутренней энергии найдем по формуле

$$\Delta u = c_{um}(t_2 - t_1).$$

Пользуясь таблицами, получим для воздуха

$$(c_{um})_0^t = 0,7084 + 0,0009349t \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К});$$

$$(c_{um})_0^{300} = 0,7084 + 0,0009349(50 + 300) = 0,7411 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К});$$

Следовательно,

$$\Delta u = 0,7411(50 - 300) = -185,3 \text{ кДж}/\text{кг}.$$

8. В закрытом сосуде емкостью $V = 0,6 \text{ м}^3$ содержится воздух при давлении $p_1 = 0,5 \text{ МПа}$ и температуре $t_1 = 20^\circ \text{ С}$. В результате охлаждения сосуда воздух, содержащийся в нем, теряет 105 кДж .

Принимая теплоемкость воздуха постоянной, определить, какое давление и какая температура устанавливаются после этого в сосуде.

Решение

Пользуясь уравнением состояния, находим массу воздуха в сосуде:

$$M = \frac{pV}{RT} = \frac{0,5 \cdot 10^6 \cdot 0,6}{287 \cdot 293} = 3,57 \text{ кг.}$$

Количество теплоты, отводимой от воздуха, в процессе, определяется уравнением

$$Q = Mc_{vm}(t_2 - t_1) \text{ кДж,}$$

откуда

$$t_2 = \frac{Q}{Mc_{vm}} + t_1 = \frac{-105}{3,57 \cdot 0,723} + 20 = -40,7 + 20 = -20,7^\circ \text{ C.}$$

Значение $c_{vm} = 0,723 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{K)}$ получено из таблиц.

Из соотношения параметров в изохорном процессе имеем

$$p_2 = p_1 \frac{T_2}{T_1} = 0,5 \frac{273 - 20,7}{293} = 0,43 \text{ МПа.}$$

9. В резервуаре, имеющем объем $V = 0,5 \text{ м}^3$, находится углекислый газ при давлении $p_1 = 0,6 \text{ МПа}$ и температуре $t_1 = 52^\circ \text{ C}$.

Как изменится температура газа, если отнять от него при постоянном объеме 436 кДж? Зависимость теплоемкости от температуры считать линейной.

Решение

Так как конечное давление газа неизвестно, то для определения конечной температуры нельзя воспользоваться соотношением параметров в изохорном процессе. Обратимся поэтому к выражению, определяющему количество отведенной теплоты в изохорном процессе. Согласно формуле

$$Q_v = Mc_{vm}(t_2 - t_1),$$

В этом уравнении

$$Q_v = -436 \text{ кДж,}$$

а масса газа согласно формуле

$$M = \frac{pV}{RT} = \frac{0,6 \cdot 10^6 \cdot 0,5}{189 \cdot 800} = 1,98 \text{ кг.}$$

В пределах от 527° C до t_2 согласно таблице средняя теплоемкость углекислого газа

$$c_{vm} = 0,6837 + 0,00024053(527 + t_2).$$

Подставляя соответствующие значения величин в уравнение для Q_v получаем

$$Q_v = -100 = 1,98[0,6837 + 0,00024053(527 + t_2)] \cdot (t_2 - 527).$$

Это выражение является относительно t_2 квадратным уравнением, только один корень которого имеет физический смысл. Однако его решают обычно не как квадратное уравнение, а методом последовательного приближения или, как говорят, подбором. Для этого задают значение t_2 после чего определяют теплоемкости c_{vm} и, подставляя в уравнение для Q_v проверяют, получается ли тождество. Очевидно, что только в этом случае выбранная температура t_2 является правильной.

Указанным путем температура t_2 получается равной 276°C .

10. Какое количество теплоты необходимо затратить, чтобы нагреть 2 м^3 воздуха при постоянном избыточном давлении $p = 0,2 \text{ МПа}$ от $t_1 = 100^\circ \text{C}$ до $t_2 = 500^\circ \text{C}$? Какую работу при этом совершит воздух?

Давление атмосферы принять равным $101\,325 \text{ Па}$.

Решение

Согласно уравнению

$$Q_p = c_{pm2}t_2 - c_{pm1}t_1.$$

Пользуясь таблицами, находим

$$c_{pm1} = 1,0061 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{K)}; c_{pm2} = 1,0387 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{K)}.$$

Следовательно,

$$q_p = 1,0387 \cdot 500 - 1,0061 \cdot 100 = 418,7 \text{ кДж/кг}.$$

Массу воздуха определяем из характеристического уравнения

$$M = \frac{pV}{RT} = \frac{(0,2 + 0,1013) \cdot 10^6 \cdot 2}{287 \cdot 373} = 5,63 \text{ кг}.$$

Таким образом,

$$Q_p = Mq_p = 5,63 \cdot 418,7 = 2357 \text{ кДж}.$$

Количество теплоты можно получить не только по массе воздуха, но и по его объему. В этом случае

$$Q_p = c'_{pm2}t_2 - c'_{pm1}t_1.$$

Пользуясь таблицами, получаем

$$c'_{pm1} = (c'_{pm})_0^{100} = 1,3004 \text{ кДж/(м}^3 \cdot \text{K)};$$

$$c'_{pm2} = (c'_{pm})_0^{500} = 1,3427 \text{ кДж/(м}^3 \cdot \text{K)}.$$

Тогда

$$q_p = 1,3427 \cdot 500 - 1,3004 \cdot 100 = 541,4 \text{ кДж/м}^3.$$

Объем воздуха должен быть приведен к нормальным условиям.

$$V_H = \frac{pV\Gamma_H}{T_{pH}} = \frac{0,3013 \cdot 2 \cdot 273}{373 \cdot 0,1013} = 4,35 \text{ м}^3.$$

Таким образом,

$$Q_p = q_p V_H = 541,4 \cdot 4,35 = 2356 \text{ кДж.}$$

Работа газа определяется по уравнению

$$L = MR(t_2 - t_1) = 5,63 \cdot 287 \cdot 400 = 646,3 \text{ кДж.}$$

11. В цилиндре находится воздух при давлении $p = 0,5$ МПа и температуре $t_1 = 400^\circ \text{С}$. От воздуха отнимается теплота при постоянном давлении таким образом, что в конце процесса устанавливается температура $t_2 = 0^\circ \text{С}$. Объем цилиндра, в котором находится воздух, равен 400 л.

Определить количество отнятой теплоты, конечный объем, изменение внутренней энергии и совершенную работу сжатия. Зависимость теплоемкости от температуры считать нелинейной.

Решение

Количество отнятой теплоты по формуле

$$Q_p = V_H c'_{pm} (t_2 - t_1).$$

Объем воздуха при нормальных условиях определим из выражения

$$V_H = \frac{pV\Gamma_H}{T_{pH}} = \frac{0,5 \cdot 0,4 \cdot 273}{673 \cdot 0,1013} = 0,8 \text{ м}^3.$$

По таблицам находим

$$c'_{pm} = 1,3289 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}).$$

Следовательно,

$$Q_p = 0,8 \cdot 1,3289(0 - 400) = -425 \text{ кДж},$$

Это же количество теплоты можно вычислить не только по объему воздуха, но и по его массе:

$$Q_p = Mc_{pm}(t_2 - t_1).$$

Массу воздуха определяем из характеристического уравнения

$$M = \frac{pV_1}{RT_1} = \frac{0,5 \cdot 10^6 \cdot 0,4}{287 \cdot 673} = 1,035 \text{ кг.}$$

Из таблиц находим

$$c_{pm} = 1,0283 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К}).$$

Следовательно,

$$Q_p = 1,035 \cdot 1,0283(0 - 400) = -425 \text{ кДж.}$$

Конечный объем получим из уравнения

$$V_2 = V_1 \frac{T_2}{T_1} = 0,4 \frac{273}{673} = 0,1622 \text{ м}^3.$$

Изменение внутренней энергии

$$\Delta U = V_n c'_{um} (t_2 - t_1).$$

Пользуясь таблицами, находим

$$c'_{um} = 0,9579 \text{ кДж/(м}^3 \cdot \text{К)}.$$

Следовательно,

$$\Delta U = 0,8 \cdot 0,9579 (0 - 400) = -306,5 \text{ кДж}.$$

Работа, затраченная на сжатие, определяется по формуле

$$L = p(V_2 - V_1) = 0,5 \cdot 10^6 (0,1622 - 0,4) = -118,9 \text{ кДж}.$$

12. 1 кг воздуха при температуре $t_1 = 30^\circ \text{C}$ и начальном давлении $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$ сжимается изотермически до конечного давления $p_2 = 1 \text{ МПа}$.

Определить конечный объем, затрачиваемую работу и количество теплоты, отводимой от газа.

Решение

Найдем начальный объем воздуха из уравнения состояния:

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{287 \cdot 303}{0,1 \cdot 10^6} = 0,87 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Так как в изотермическом процессе

$$p_1 v_1 = p_2 v_2,$$

то конечный объем

$$v_2 = v_1 \frac{p_1}{p_2} = 0,87 \frac{1}{10} = 0,087 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

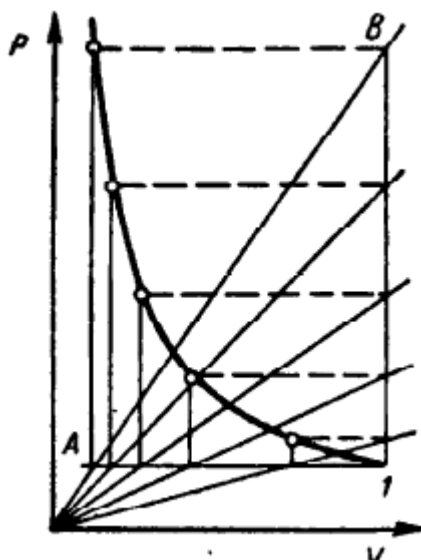
Работа, затрачиваемая на сжатие 1 кг воздуха, получается из уравнения

$$\ell = RT \ln \frac{p_1}{p_2} = 287 \cdot 303 \ln \frac{1}{10} = 287 \cdot 303 \cdot (-2,302) = -200 \text{ кДж/кг}.$$

Количество теплоты, отводимой от газа, равно работе, затраченной на сжатие. Следовательно,

$$q = -200 \text{ кДж/кг}.$$

13. Построить в координатах p - v изотерму сжатия, если дана точка 1, характеризующая начальное состояние газа.



Решение

Проводим прямую 1А, параллельную оси v и 1В, параллельную оси p . Из начала координат проводим ряд лучей и из точек пересечения каждого луча с прямыми 1В и 1А восстанавливаем перпендикуляры. Пересечение их дает точки, принадлежащие изотерме.

14. Как будут относиться между собой значения работы изотермического сжатия, вычисленные для равной массы различных газов, при прочих одинаковых условиях?

Решение

Значения работы изотермического сжатия для 1 кг различных газов при одинаковых условиях выражаются следующими уравнениями:

$$\ell_1 = R_1 T \ln \frac{p_2}{p_1};$$

$$\ell_2 = R_2 T \ln \frac{p_2}{p_1};$$

$$\ell_3 = R_3 T \ln \frac{p_2}{p_1}; \text{ и т.д.}$$

поэтому

$$\ell_1 : \ell_2 : \ell_3 = R_1 : R_2 : R_3 ,$$

т. е. работа изотермического сжатия пропорциональна газовой постоянной.

15. 1 кг воздуха при начальной температуре $t_1 = 30^\circ \text{C}$ и давлении $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$ сжимается адиабатно до конечного давления $p_2 = 1 \text{ МПа}$.

Определить конечный объем, конечную температуру и затрачиваемую работу.

Решение

Из соотношения параметров в адиабатном процессе находим

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}},$$

откуда

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}},$$

Принимая $k = 1,4$, получаем

$$T_2 = 303 \cdot 10^{\frac{0,4}{1,4}} = 303 \cdot 1,031 = 585 \text{ К.}$$

Затраченная работа

$$\ell = \frac{R}{k-1} (T_1 - T_2) = \frac{287}{0,4} (303 - 585) = -202 \text{ кДж/кг.}$$

Конечный объем определяется из уравнения состояния

$$v_2 = \frac{RT_2}{p_2} = \frac{287 \cdot 585}{1 \cdot 10^6} = 0,168 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

16. В газовом двигателе смесь газа и воздуха адиабатно сжимается так, что к концу сжатия ее температура оказывается на 200° С ниже температуры самовоспламенения газа. В начале сжатия $p_1 = 0,09$ МПа и $t_1 = 70^\circ$ С. Показатель адиабаты $k = 1,30$, $R = 314$ Дж/(кг·К), температура самовоспламенения равна 650° С. Определить величину работы сжатия и степень сжатия $\varepsilon = v_1/v_2$.

Решение

Из соотношения параметров в адиабатном процессе имеем

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2} = \left(\frac{723}{343} \right)^{\frac{1}{0,36}} = 2,108^{2,776} = 7,92$$

Работа сжатия

$$\ell = \frac{R}{k-1} (T_1 - T_2) = \frac{314}{0,36} (343 - 723) = -331,4 \text{ кДж/кг}.$$

17. В баллоне емкостью 100 л находится воздух при давлении $p_1 = 5$ МПа и температуре $t_1 = 20^\circ$ С. Давление окружающей среды $p_2 = 0,1$ МПа. Определить работу, которая может быть произведена содержащимся в баллоне воздухом при расширении его до давления окружающей среды по изотерме и по адиабате. Найти также минимальную температуру, которую будет иметь воздух в баллоне, если открыть вентиль и выпускать воздух из баллона до тех пор, пока давление в нем не станет равным давлению окружающей среды и при условии, что теплообмен воздуха с окружающей средой будет отсутствовать.

Решение

1. Работа изотермического расширения определяется по уравнению

$$L = p_1 V_1 \ln \frac{p_1}{p_2} = 5 \cdot 10^6 \cdot 0,1 \cdot 3,91 = 1956 \text{ кДж}.$$

Конечный объем воздуха

$$V_2 = V_1 \frac{p_1}{p_2} = 0,1 \cdot 50 = 5 \text{ м}^3.$$

Для преодоления атмосферного давления должна быть затрачена работа

$$p_2 (V_2 - V_1) = 0,1 \cdot 10^6 (5 - 0,1) = 490 \text{ кДж}.$$

Таким образом, полезная работа воздуха $1956 - 490 = 1466$ кДж.

2. Работу адиабатного расширения найдем по формуле

$$L_{\text{ад}} = \frac{p_1 V_1}{k-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] = \frac{5 \cdot 10^6 \cdot 0,1}{0,4} \left[1 - \left(\frac{0,1}{5} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} \right] =$$
$$= 1250000 (1 - 0,02^{0,286}) = 1250000 \cdot 0,672 = 840 \text{ кДж.}$$

Конечный объем воздуха

$$V_2 = V_1 \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{k}} = 0,1 \cdot 50^{\frac{1}{1,4}} = 0,1 \cdot 16,36 = 1,636 \text{ м}^3.$$

Для преодоления атмосферного давления должна быть затрачена работа

$$p_2 (V_2 - V_1) = 0,1 \cdot 10^6 \cdot 1,536 = 153,6 \text{ кДж,}$$

и, таким образом, полезная работа воздуха составит
 $840 - 153,6 = 686,4 \text{ кДж.}$

Минимальная температура определяется из соотношения параметров адиабатного процесса:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1}; \quad T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1} =$$
$$= 293 \cdot 0,0611^{0,4} = 293 \cdot 0,327 = 96 \text{ К} = -177^\circ \text{С.}$$

18. 1 кг воздуха при $p_1 = 0,5 \text{ МПа}$ и $t_1 = 111^\circ \text{С}$ расширяется политропно до давления $p_2 = 0,1 \text{ МПа}$. Определить конечное состояние воздуха, изменение внутренней энергии, количество подведенной теплоты и полученную работу, если показатель политропы $m = 1,2$.

Решение

Определяем начальный объем воздуха:

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{287 \cdot 384}{0,5 \cdot 10^6} = 0,22 \text{ м}^3 / \text{кг.}$$

Конечный объем воздуха находим из уравнения

$$v_2 = v_1 \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{m}} = 0,22 \cdot 5^{\frac{1}{1,2}} = 0,84 \text{ м}^3 / \text{кг.}$$

Конечную температуру проще всего получить из характеристического уравнения

$$T_2 = \frac{p_2 v_2}{R} = \frac{0,1 \cdot 10^6 \cdot 0,84}{287} = 293 \text{ К.}$$

Величину работы находим из уравнения

$$\ell = \frac{R}{m-1}(T_1 - T_2) = \frac{287}{0,2}(384 - 293) = 130,6 \text{ кДж/кг.}$$

Изменение внутренней энергии

$$\Delta u = c_v(T_2 - T_1) = 0,723 \cdot (293 - 384) = -65,8 \text{ кДж/кг.}$$

Количество теплоты, сообщенной воздуху

$$q = c_v \frac{m-k}{m-1}(t_2 - t_1) = 0,72 \frac{1,2-1,4}{1,2-1}(20 - 111) = 65,8 \text{ кДж/кг.}$$

Нетрудно видеть, что в этом процессе внешняя работа совершается за счет подведенной теплоты и уменьшения внутренней энергии. Исходя из этого можно проверить полученные результаты следующим образом:

$$q = \Delta u + \ell; \quad \ell = q - \Delta u = 65,8 - (-65,8) = 131,6 \text{ кДж/кг.}$$

19. 1,6 кг воздуха сжимают политропно от $p_1 = 0,09$ МПа и $t_1 = 18^\circ \text{C}$ до $p_2 = 1$ МПа; температура при этом повышается до $t_2 = 125^\circ \text{C}$.

Определить показатель политропы, конечный объем, затраченную работу и количество отведенной теплоты.

Решение

По формуле определяем

$$\frac{m-1}{m} = \frac{\ln \frac{T_2}{T_1}}{\ln \frac{p_2}{p_1}} = \frac{\ln \frac{398}{291}}{\ln \frac{100}{9}} = 0,13,$$

отсюда

$$m = \frac{1}{1-0,13} = 1,149.$$

Конечный объем находим из характеристического уравнения

$$V_2 = \frac{MRT_2}{p_2} = \frac{1,5 \cdot 287 \cdot 398}{1 \cdot 10^6} = 0,171 \text{ м}^3.$$

Затраченная работа по уравнению

$$L = \frac{MR}{m-1}(t_1 - t_2) = \frac{1,5 \cdot 287}{0,149}(18 - 125) = -309,2 \text{ кДж.}$$

Количество отведенной теплоты по уравнению

$$Q = M c_v \frac{m-k}{m-1} (t_2 - t_1) = 1,5 \cdot 0,72 \frac{1,149-1,4}{1,149-1} (125-18) = -195,4 \text{ кДж.}$$

20. 20 м³ воздуха при давлении $p_1 = 0,1$ МПа и температуре $t_1 = 18^\circ \text{C}$ сжимают по политропе до $p_2 = 0,8$ МПа, причем показатель политропы $m = 1,25$. Какую работу надо затратить для получения 1 м³ сжатого воздуха и какое количество теплоты отводится при сжатии?

Решение

Температуру в конце сжатия определяют по уравнению

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} = 291 \left(\frac{0,8}{0,1} \right)^{\frac{0,25}{1,25}} = 291 \cdot 1,51 = 439 \text{ К;}$$

Массу газа находят из характеристического уравнения для начального состояния газа;

$$p_1 V_1 = M R T_1;$$

$$M = \frac{p_1 V_1}{R T_1} = \frac{0,1 \cdot 10^6 \cdot 20}{287 \cdot 291} = 23,95 \text{ кг.}$$

Объем воздуха в конце сжатия

$$V_2 = \frac{M R T_2}{p_2} = \frac{23,95 \cdot 287 \cdot 439}{0,8 \cdot 10^6} = 3,77 \text{ м}^3.$$

Работа газа по формуле

$$L = \frac{1}{m-1} (p_1 V_1 - p_2 V_2) = \frac{10^6}{0,25} (0,1 \cdot 20 - 0,8 \cdot 3,77) = -4064 \text{ кДж.}$$

Работа, затрачиваемая на получение 1 м³ сжатого воздуха,

$$\ell = \frac{-L}{V_2} = -\frac{4064}{3,77} = -1078 \text{ кДж/м}^3.$$

Количество теплоты, отводимой при сжатии воздуха составит

$$Q = M c_v \frac{m-k}{m-1} (t_2 - t_1) = 23,95 \cdot 0,723 \frac{-0,15}{0,25} 148 = -1548 \text{ кДж.}$$

21. Определить энтропию 1 кг кислорода при $p = 0,8$ МПа и $t = 250^\circ \text{C}$. Теплоемкость считать постоянной.

Решение

Значение энтропии определяем по формуле

$$s = c_p \ln \frac{T}{273} - R \ln \frac{p}{p_H}.$$

Так как для двухатомных газов $\mu_{cp} = 29,3$ кДж/(кмоль·К), а $R = 8,314$ кДж/(кмоль·К), то

$$s = \frac{29,3}{32} \ln \frac{523}{273} - \frac{8,314}{32} \ln \frac{8}{1,013};$$
$$s = 0,5978 - 0,5373 = 0,0605 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}.$$

22. 1 кг кислорода при температуре $t_1 = 127^\circ \text{C}$ расширяется до пятикратного объема; температура его при этом падает до $t_2 = 27^\circ \text{C}$. Определить изменение энтропии. Теплоемкость считать постоянной.

Решение

Изменение энтропии определяем по формуле

$$s_2 - s_1 = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1} = 0,0818 + 0,1827 = 0,2324 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}.$$

23. 1 кг воздуха сжимается по адиабате так, что объем его уменьшается в 6 раз, а затем при $v = \text{const}$ давление повышается в 1,5 раза. Найти общее изменение энтропии воздуха. Теплоемкость считать постоянной.

Решение

Изменение энтропии воздуха в адиабатном процессе будет равно нулю.
Изменение энтропии в изохорном процессе определится по формуле

$$\Delta s_v = c_v \ln \frac{T_3}{T_2} = c_v \ln \frac{p_3}{p_2} = 0,723 \cdot \ln 1,5 = 0,293 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)};$$

следовательно,

$$\Delta s = \Delta s_v = 0,293 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}.$$

24. В процессе политропного расширения воздуха температура его уменьшилась от $t_1 = 25^\circ \text{C}$ до $t_2 = -37^\circ \text{C}$. Начальное давление воздуха $p_1 = 0,4$ МПа, количество его $M = 2$ кг. Определить изменение энтропии в этом процессе, если известно, что количество подведенной к воздуху теплоты составляет 89,2 кДж.

Решение

Количество теплоты, сообщаемое газу в политропном процессе составляет

$$Q = M c_v \frac{m - k}{m - 1} (t_2 - t_1).$$

Подставляя значения известных величин, получаем

$$\frac{m - k}{m - 1} = - \frac{89,2}{2 \cdot 0,723 \cdot 62} = -0,995.$$

Отсюда показатель политропы $m = 1,2$.

Из соотношения параметров политропного процесса определяем конечное давление:

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{m}{m-1}}; \quad p_2 = p_1 \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{m}{m-1}} = 4 \cdot \left(\frac{236}{298} \right)^6 = 0,1 \text{ МПа.}$$

Изменение энтропии по уравнению

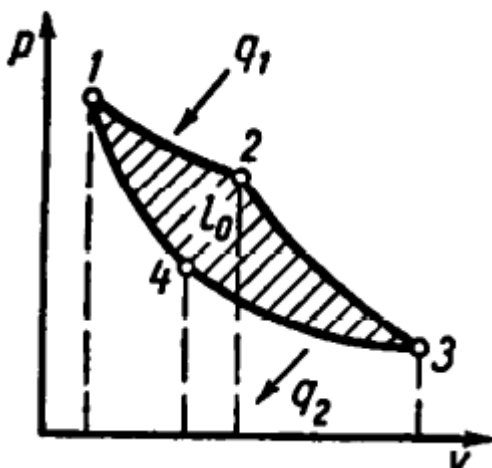
$$\Delta s = M \left[c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{p_2}{p_1} \right];$$

следовательно,

$$\Delta s = 2 \cdot \left[1,011 \cdot \ln \frac{236}{298} - 287 \cdot \ln \frac{0,1}{0,4} \right] = 0,323 \text{ кДж/К.}$$

25. 1 кг воздуха совершает цикл Карно в пределах температур $t_1 = 627^\circ \text{C}$ и $t_2 = 27^\circ \text{C}$, причем наивысшее давление составляет 6 МПа, а наинизшее — 0,1 МПа. Определить параметры состояния воздуха в характерных точках цикла, работу, термический к. п. д. цикла и количество подведенной и отведенной теплоты.

Решение



Точка 1.

$$p_1 = 6 \text{ МПа}; \quad T_1 = 900 \text{ К.}$$

Удельный объем газа находим из характеристического уравнения

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{287 \cdot 900}{6 \cdot 10^6} = 0,043 \text{ м}^3 / \text{кг.}$$

Точка 2.

$$T_2 = 900 \text{ К.}$$

Из уравнения адиабаты (линия 2—3)

$$\frac{p_2}{p_3} = \left(\frac{T_2}{T_3} \right)^{\frac{k}{k-1}} = 3^{\frac{1,4}{0,4}} = 46,8 ;$$

$$p_2 = 0,1 \cdot 46,8 = 4,68 \text{ МПа.}$$

Из уравнения изотермы (линия 1—2)

$$p_1 v_1 = p_2 v_2,$$

получаем

$$v_2 = v_1 \frac{p_1}{p_2} = \frac{6 \cdot 0,043}{4,68} = 0,055 \text{ м}^3 / \text{кг.}$$

Точка 3.

$$p_3 = 0,1 \text{ МПа; } T_3 = 300 \text{ К;}$$

$$v_3 = \frac{RT_3}{p_3} = \frac{287 \cdot 300}{0,1 \cdot 10^6} = 0,861 \text{ м}^3 / \text{кг.}$$

Точка 4.

$$T_4 = 300 \text{ К.}$$

Из уравнения адиабаты (линия 4—1), имеем

$$\frac{p_1}{p_4} = \left(\frac{T_1}{T_4} \right)^{\frac{k}{k-1}} = 4,68 ;$$

$$p_4 = \frac{p_1}{4,68} = 0,128 \text{ МПа.}$$

Из уравнения изотермы (линия 3—4), получаем

$$p_3 v_3 = p_4 v_4,$$

$$v_4 = v_1 \frac{p_3 v_3}{p_4} = \frac{0,1 \cdot 0,861}{0,128} = 0,671 \text{ м}^3 / \text{кг.}$$

Термический к. п. д. цикла

$$\eta_t = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{900 - 300}{900} = 0,667.$$

Подведенное количество теплоты

$$q_1 = RT_1 \ln \frac{v_2}{v_1} = 287 \cdot 900 \ln \frac{0,055}{0,043} = 63,6 \text{ кДж/кг.}$$

Отведенное количество теплоты

$$q_2 = RT_3 \ln \frac{v_3}{v_4} = 287 \cdot 300 \ln \frac{0,861}{0,671} = 21,5 \text{ кДж/кг.}$$

Работа цикла

$$\ell_0 = q_1 - q_2 = 63,6 - 21,5 = 42,1 \text{ кДж/кг.}$$

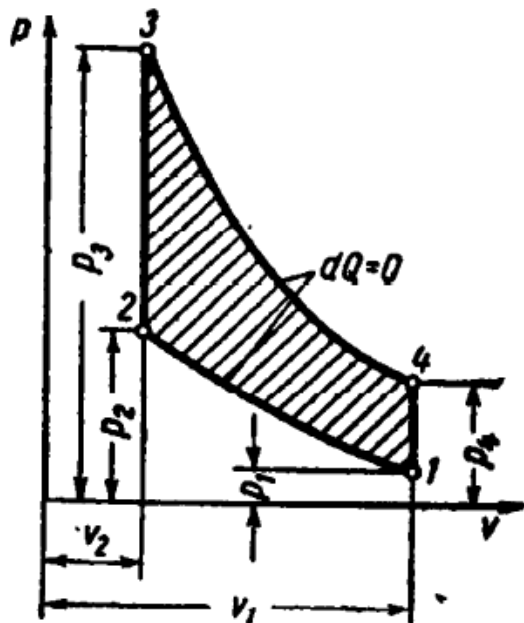
Для проверки можно воспользоваться формулой

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{\ell_0}{q_1} = \frac{42,1}{63,6} = 0,662.$$

26. Для идеального цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при $v = \text{const}$ определить параметры в характерных точках, полученную работу, термический к. п. д., количество подведенной и отведенной теплоты, если дано; $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$; $t_1 = 20^\circ \text{C}$; $\varepsilon = 3,6$; $\lambda = 3,33$; $k = 1,4$.

Рабочее тело - воздух. Теплоемкость принять постоянной,

Решение



Расчет ведем для 1 кг воздуха.

Точка 1.

$p_1 = 0,1 \text{ МПа}$, $t_1 = 20^\circ \text{C}$.

Удельный объем определяем из уравнения состояния:

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{287 \cdot 293}{0,1 \cdot 10^6} = 0,84 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Точка 2.

Так как степень сжатия

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2} = 3,6,$$

то

$$v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon} = \frac{0,84}{3,6} = 0,233 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Температура в конце адиабатного сжатия определится из соотношения

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1}; \quad T_2 = T_1 \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} = 293 \cdot 3,6^{0,4} = 489 \text{ К};$$

Давление в конце адиабатного сжатия

$$p_2 = \frac{RT_2}{v_2} = \frac{287 \cdot 489}{0,233 \cdot 10^6} = 0,6 \text{ МПа.}$$

Точка 3.

Удельный объем $v_3 = v_2 = 0,233 \text{ м}^3/\text{кг}$. Из соотношения параметров в изохорном процессе (линия 2-3) получаем

$$\frac{p_3}{p_2} = \frac{T_3}{T_2} = \lambda = 3,33.$$

Следовательно,

$$p_3 = p_2 \lambda = 0,6 \cdot 3,33 = 2 \text{ МПа;}$$

$$T_3 = T_2 \lambda = 489 \cdot 3,33 = 1628 \text{ К;}$$

Точка 4.

Удельный объем $v_4 = v_1 = 0,84 \text{ м}^3/\text{кг}$.

Температура в конце адиабатного расширения

$$T_4 = T_3 \left(\frac{v_3}{v_4} \right)^{k-1} = T_2 \left(\frac{v_2}{v_2} \right)^{k-1} = 1628 \cdot \frac{1}{3,6^{0,4}} = 976 \text{ К;}$$

Давление в конце адиабатного расширения определяем из соотношения параметров в изохорном процессе (линия 4 - 1):

$$p_4 = p_1 \frac{T_4}{T_1} = 0,1 \frac{976}{293} = 0,33 \text{ МПа.}$$

Количество подведенной теплоты

$$q_1 = c_v (T_3 - T_2) = 0,722(1628 - 489) = 825 \text{ кДж/кг;}$$

$$q_2 = c_v (T_4 - T_1) = 0,722(976 - 293) = 495 \text{ кДж/кг.}$$

Термический к. п. д. цикла находим по формуле

$$\eta_t = \frac{825 - 495}{825} = \frac{330}{825} = 0,4.$$

или,

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} = 1 - \frac{1}{3,6^{0,4}} = 0,4.$$

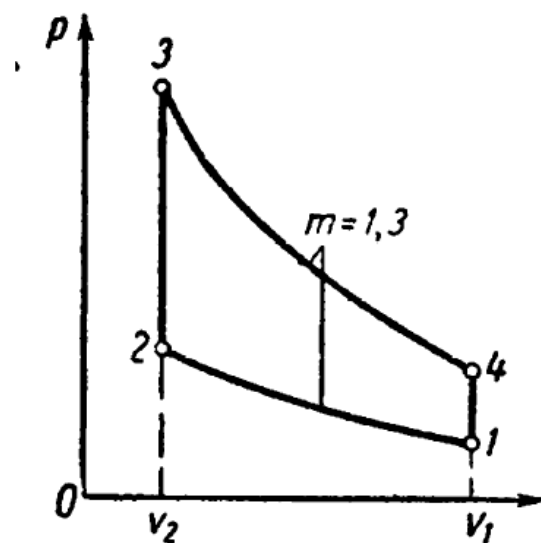
Работа цикла

$$\ell_0 = q_1 - q_2 = 330 \text{ кДж/кг.}$$

27. 1 кг воздуха работает по циклу, изображенному на рисунке. Начальное давление воздуха $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$, начальная температура $t_1 = 27^\circ \text{ С}$, а степень сжатия $\varepsilon = 5$. Количество теплоты, подводимой во время изохорного сжатия, равно 1300 кДж/кг .

Определить параметры воздуха в характерных точках и полезную работу цикла. Теплоемкость воздуха считать постоянной.

Решение



Точка 1.

$$p_1 = 0,1 \text{ МПа}, \quad T_1 = 300 \text{ К}.$$

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{287 \cdot 300}{0,1 \cdot 10^6} = 0,86 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Точка 2.

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2} = 5; \quad v_2 = \frac{v_1}{5} = \frac{0,86}{5} = 0,172 \text{ м}^3 / \text{кг};$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{m-1} = \varepsilon^{m-1};$$

$$T_2 = T_1 \varepsilon^{m-1} = 300 \cdot 5^{0,3} = 510 \text{ К}.$$

Давление p_2 находим из выражения

$$\frac{p_2 v_2}{p_1 v_1} = \frac{T_2}{T_1};$$

$$p_2 = \frac{p_1 v_1 T_2}{v_2 T_1} = \frac{0,1 \cdot 5 \cdot 510}{300} = 0,85 \text{ МПа}.$$

Точка 3.

Температура в точке 3 определяется из соотношения

$$q_1 = c_v (T_3 - T_2),$$

отсюда

$$T_3 = \frac{q_1}{c_v} + T_2.$$

Принимая $\mu c_v = 20,98 \text{ кДж}/(\text{кмоль} \cdot \text{К})$, получаем

$$c_v = 0,723 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К});$$

следовательно,

$$T_3 = \frac{1300}{0,723} + 510 = 2308 \text{ К};$$

$$\frac{p_3}{p_2} = \frac{T_3}{T_2};$$

$$p_3 = p_2 \frac{T_3}{T_2} = 0,85 \frac{2308}{510} = 3,85 \text{ МПа.}$$

Точка 4.

$$v_4 = v_1 = 0,86 \text{ м}^3/\text{кг.}$$

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{v_3}{v_4} \right)^{m-1} = \left(\frac{v_3}{v_1} \right)^{m-1};$$

$$T_4 = T_3 \frac{1}{\varepsilon^{m-1}} = \frac{2308}{5^{0,33}} = 1350 \text{ К};$$

$$\frac{p_4}{p_1} = \frac{T_4}{T_1}; \quad p_4 = 0,1 \frac{1350}{300} = 0,45 \text{ МПа.}$$

Работа цикла может быть определена как разность между работой расширения и работой сжатия. Работа расширения

$$\begin{aligned} \ell_1 &= \frac{1}{m-1} (p_3 v_3 - p_4 v_4) = \\ &= \frac{1}{0,33} (3,85 \cdot 10^6 \cdot 0,172 - 0,45 \cdot 10^6 \cdot 0,86) = \\ &= \frac{1 \cdot 10^6}{0,33} (0,662 - 0,387) = 833 \text{ кДж/кг,} \end{aligned}$$

Работа сжатия

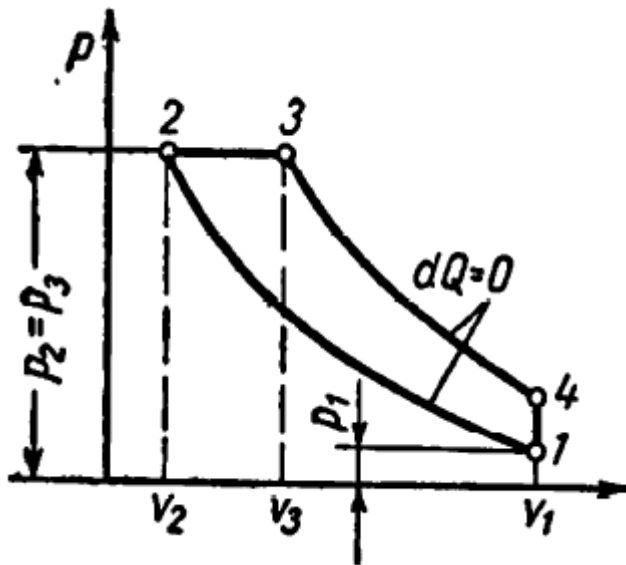
$$\begin{aligned} \ell_1 &= \frac{1}{m-1} (p_3 v_3 - p_4 v_4) = \\ &= \frac{1}{0,33} (0,85 \cdot 10^6 \cdot 0,172 - 0,1 \cdot 10^6 \cdot 0,86) = \\ &= \frac{1 \cdot 10^6}{0,33} (0,146 - 0,086) = 182 \text{ кДж/кг.} \end{aligned}$$

Работа цикла

$$\ell_0 = \ell_1 - \ell_2 = 833 - 182 = 651 \text{ кДж/кг.}$$

28. Для цикла с подводом теплоты при $p = \text{const}$ найти параметры в характерных точках, полезную работу, термический к. п. д., количество подведенной и отведенной теплоты, если дано: $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$; $t_1 = 20^\circ \text{ С}$; $\varepsilon = 12,7$; $k = 1,4$. Рабочее тело - воздух. Теплоемкость считать постоянной.

Решение



Точка 1.

$$p_1 = 0,1 \text{ МПа}, \quad t_1 = 20^\circ \text{ C}.$$

Определяем удельный объем:

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{287 \cdot 293}{0,1 \cdot 10^6} = 0,84 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Точка 2.

Так как степень сжатия

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2} = 12,7;$$

то

$$v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon} = \frac{0,84}{12,7} = 0,0661 \text{ м}^3 / \text{кг};$$

Температура в конце адиабатного сжатия

$$T_2 = T_1 \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} = 293 \cdot 12,7^{0,4} = 293 \cdot 2,76 = 809 \text{ К};$$

Давление в конце адиабатного сжатия

$$p_2 = \frac{RT_2}{v_2} = \frac{287 \cdot 809}{0,0661 \cdot 10^6} = 3,51 \text{ МПа}.$$

Точка 3.

Из соотношения параметров в изобарном процессе

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{v_3}{v_2} = \rho = 2,$$

отсюда

$$\nu_3 = \nu_2 \rho = 0,0661 \cdot 2 = 0,1322 \text{ м}^3 / \text{кг};$$

$$T_3 = T_2 \rho = 809 \cdot 2 = 1618 \text{ К};$$

$$p_3 = p_2 = 3,51 \text{ МПа.}$$

Точка 4.

$$\nu_4 = \nu_1 = 0,84 \text{ м}^3 / \text{кг.}$$

Давление в конце адиабатного расширения

$$\frac{p_3}{p_4} = \left(\frac{\nu_4}{\nu_3} \right)^k = \left(\frac{\nu_1}{\nu_3} \right)^k = \left(\frac{0,84}{0,1322} \right)^{1,4} = 13,3;$$

$$p_4 = \frac{3,51}{13,3} = 0,264 \text{ МПа.}$$

Температуру в конце адиабатного сжатия определяем из соотношения параметров в изохорном процессе (линия 4-1)

$$T_4 = T_1 \frac{p_4}{p_1} = 293 \frac{0,264}{0,1} = 773 \text{ К};$$

Количество подведенной теплоты

$$q_1 = q_{2-3} = c_p (t_3 - t_2) = 1,011(1345 - 536) = 818 \text{ кДж/кг.}$$

Количество отведенной теплоты (абсолютное значение)

$$q_2 = q_{4-1} = c_v (t_4 - t_1) = 0,722(500 - 20) = 347 \text{ кДж/кг.}$$

Термический к. п. д. цикла

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{818 - 347}{818} = 0,576.$$

Работа цикла

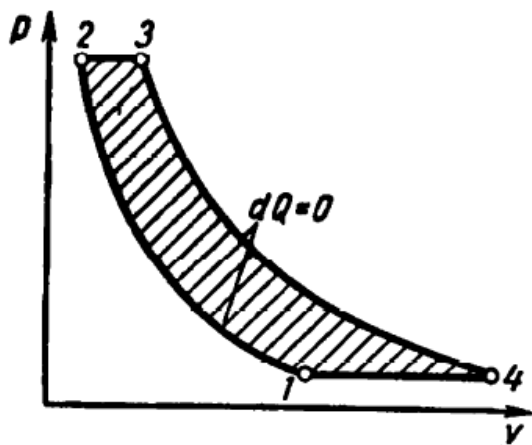
$$\ell_0 = q_1 - q_2 = 818 - 347 = 471 \text{ кДж/кг.}$$

29. Для идеального цикла газовой турбины с подводом теплоты при $p = \text{const}$ найти параметры в характерных точках, полезную работу, термический к. п. д., количество подведенной и отведенной теплоты, если дано: $p_1 = 100 \text{ кПа}$; $t_1 = 27^\circ \text{ С}$; $t_3 = 700^\circ \text{ С}$;

$$\lambda = \frac{p_3}{p_2} = 10; \quad k = 1,4.$$

Рабочее тело - воздух. Теплоемкость принять постоянной.

Решение



Точка 1.

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{287 \cdot 300}{100 \cdot 10^3} = 0,861 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Точка 2.

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}; \quad T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = T_1 \lambda^{\frac{k-1}{k}};$$

$$T_2 = 300 \cdot 10^{\frac{0,4}{1,4}} = 300 \cdot 1,93 = 579 \text{ К};$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \lambda; \quad p_2 = p_1 \lambda = 100 \cdot 10 = 1 \text{ МПа}.$$

$$v_2 = \frac{RT_2}{p_2} = \frac{287 \cdot 579}{1 \cdot 10^6} = 0,166 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Точка 3.

$$T_3 = 700 + 273 = 973 \text{ К};$$

$$p_3 = p_2 = 1 \text{ МПа};$$

$$v_3 = v_2 \frac{T_3}{T_2}; \quad v_3 = 0,166 \frac{973}{579} = 0,279 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Точка 4.

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4}; \quad \frac{579}{300} = \frac{973}{T_4};$$

$$T_4 = \frac{973 \cdot 300}{579} = 504 \text{ К};$$

$$p_4 = p_1 = 0,1 \text{ МПа};$$

$$\frac{v_4}{v_1} = \frac{T_4}{T_1} ; \quad v_4 = v_1 \frac{T_4}{T_1} = 0,861 \cdot \frac{504}{300} = 1,45 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Количество теплоты

$$q_1 = q_{2-3} = c_p (T_3 - T_2) = 1,012 \cdot (973 - 579) = 399 \text{ кДж/кг};$$

$$q_2 = q_{4-1} = c_p (T_4 - T_1) = 1,012 \cdot (500 - 300) = 202 \text{ кДж/кг}.$$

Работа цикла

$$\ell_0 = q_1 - q_2 = 399 - 202 = 197 \text{ кДж/кг}.$$

Термический к. п. д. цикла

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{202}{399} = 0,494.$$

Приложение № 4

Контрольные вопросы к зачету по дисциплине «Основы теплотехники»

1. Предмет и методы термодинамики, ее исторические этапы развития и ее современное состояние.
2. Рабочее тело, идеальный газ.
3. Параметры состояния и их физический смысл.
4. Термодинамическая система и термодинамический процесс.
5. Равновесное и неравновесное состояние, прямой и обратный термодинамические процессы.
6. Обратимый и необратимый термодинамические процессы, условия необратимости.
7. Уравнение состояния в общем виде и для идеального газа.
8. Свойства функции состояния, внутренняя энергия и энтальпия.
9. Работа, как процесс передачи энергии, работы расширения, внешняя, техническая.
10. Теплота, как процесс передачи энергии, отличие теплоты от работы и внутренней энергии.
11. Теплоемкость идеального газа и методы ее определения.
12. Связь между теплоемкостями идеального газа.
13. Зависимость теплоемкости от природы газа, термодинамического процесса и температуры.
14. Первый закон термодинамики и его аналитические выражения.
15. Второй закон термодинамики.
16. Энтропия и качество энергии.
17. Энтропия как функция состояния, свойства энтропии.
18. Основные законы газовых смесей. Способы задания состава смеси.
19. Условная молекулярная масса и газовая постоянная смеси.
20. Исследование изохорного и изобарного процессов.
21. Исследование изобарного и изотермного процессов.
22. Теплоемкость смеси идеальных газов.
23. Исследование адиабатного процесса.
24. Исследование политропного процесса.
25. Теплоемкость политропного процесса, определение показателя политропы.
26. Сопло и диффузор, анализ изменения параметров состояния при движении газа через сопло и диффузор.
27. Основные уравнения течения упругой жидкости.

28. Скорость истечения газа через сопло.
29. Эффект Джоуля - Томпсона, температура инверсии, скорость звука.
30. Расход газа через сопло.
31. Влажный воздух, основные понятия и определения влажного воздуха.
32. Работа и КПД цикла тепловой машины.
33. Цикл Карно и его КПД.
34. Сжатие газа в одноступенчатом компрессоре.
35. Сжатие газа в многоступенчатом компрессоре.
36. Цикл ДВС с изохорным подводом теплоты.
37. Цикл ДВС с изобарным подводом теплоты.
38. Цикл ДВС со смешанным подводом теплоты.
39. Цикл ГТУ с изохорным подводом теплоты.
40. Цикл ГТУ с изобарным подводом теплоты.
41. Термодинамические особенности реального газа, его уравнение состояния.
42. Парообразование и hS -диаграмма водяного пара.
43. Анализ трех стадий получения перегретого пара.
44. Адиабатное истечение водяного пара.
45. Расчет процессов изменения состояния водяного пара по hS - диаграмме.
46. Дросселирование, изменение параметров в процессе дросселирования.
47. Цикл ПТУ с перегревом.
48. Цикл ПТУ с вторичным перегревом.
49. Цикл паровой компрессорной холодильной установки.
50. Обратный цикл Карно, холодильный коэффициент, холодопроизводительность.
51. Теплопроводность, закон Фурье, коэффициент теплопроводности.
52. Теплопроводность через однослойную и многослойную плоские стенки.
53. Теплопроводность через однослойную и многослойную цилиндрические стенки.
54. Конвективный теплообмен, закон Ньютона-Рихмана, коэффициент теплоотдачи.
55. Критерии подобия конвективного теплообмена, общий вид критериального уравнения.
56. Теплоотдача при свободном движении жидкости.
57. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости по трубе.
58. Теплоотдача при вынужденном обтекании жидкостью коридорного пучка.
59. Критериальное уравнение теплообмена при вынужденном движении жидкости.
60. Теплоотдача при вынужденном обтекании жидкостью шахматного пучка.
61. Критериальное уравнение теплообмена при свободной конвенции.

- 62. Лучистый теплообмен между телами, одно из которых охватывает другое.
- 63. Законы Планка, Вина, Кирхгофа, Стефана-Больцмана.
- 64. Лучистый теплообмен между газом и стенкой.
- 65. Теплопередача через однослойную плоскую стенку.
- 66. Теплопередача через многослойную плоскую стенку.
- 67. Теплопередача через однослойную цилиндрическую стенку.
- 68. Теплопередача через многослойную цилиндрическую стенку.
- 69. Теплопередача через ребристые поверхности, способы интенсификации передачи тепла.
- 70. Тепловая изоляция, изоляция трубопроводов.
- 71. Теплообменные аппараты, водяной эквивалент.
- 72. Температурный напор, средний температурный напор и его определение.
- 73. Коэффициент теплопередачи и его связь с термическим сопротивлением.