

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	6
1. Примеры решения задач по теплотехнике	7
1.1. Примеры решения задач по технической термодинамике...	7
1.2. Примеры решения задач по основам теплопередачи	51
1.2.1. Расчет теплообменников	51
1.2.1.1. Расчет водо-водяных прямооточных и противоточных рекуперативных теплообменников	51
1.2.1.2. Расчет пароводяного теплообменного аппарата	53
1.2.1.3. Расчет водовоздушных и паровоздушных калориферов	54
1.2.1.4. Расчет электровоздушных теплообменников (электрокалориферов)	57
1.2.1.5. Расчет водовоздушных теплообменников на базе радиаторов	57
1.2.1.6. Расчет огневоздушного теплообменника	61
1.2.2. Примеры решения задач по основам теплопередачи	61
1.3. Примеры решения задач по теме применения теплоты в сельском хозяйстве	72
2. Проектирование отопительно-вентиляционной системы животноводческого помещения	117
2.1. Влияние параметров микроклимата на состояние и продуктивность животных	117
2.2. Исходные данные для проектирования	119
2.3. Расчет теплового баланса помещения	121
2.3.1. Статьи теплового баланса	121
2.3.2. Потери теплоты через ограждающие конструкции ...	121
2.3.3. Проверка наружных ограждений на предмет образования конденсата на внутренней поверхности ограждений (стен и перекрытий)	124
2.3.4. Затраты теплоты на испарение влаги	125
2.3.5. Теплота, выделяемая животными	125

2.3.6. Тепловой баланс помещения	125
2.3.7. Определение температуры воздуха, подаваемого в помещение приточной вентиляцией	126
2.4. Расчет необходимого воздухообмена и мощности системы воздушного отопления	127
2.4.1. Воздухообмен на разбавление влаги	127
2.4.2. Воздухообмен при одновременном удалении из помещения избыточной теплоты и влаги	127
2.4.3. Воздухообмен по допустимой концентрации углекислого газа	129
2.4.4. Воздухообмен по нормам расхода свежего воздуха на 100 кг живой массы животного (птицы)	130
2.4.5. Мощность системы отопления	130
2.4.6. Расчет калорифера	131
2.5. Выбор и аэродинамический расчет приточной системы вентиляции	135
2.5.1. Выбор системы вентиляции	136
2.5.2. Принципиальная схема и аэродинамический расчет приточной камеры	141
2.5.3. Аэродинамический расчет нагнетательной части вентиляционной сети	144
2.5.4. Выбор и расчет мощности привода вентилятора	148
2.5.5. Расчет воздуховыбросных шахт	151
Приложения	153
Приложение 1. <i>id</i> -диаграмма влажного воздуха	153
Приложение 2. Параметры микроклимата животноводческих и птицеводческих помещений	154
Приложение 3. Теплотехнические показатели строительных материалов и конструкций	155
Приложение 4. Конструкции кровли	158
Приложение 5. Конструкция стен	159
Приложение 6. Сопrotивления теплоотдачи поверхностей ограждений, зон утепленного пола и коэффициенты теплопередачи окон и дверей	160
Приложение 7. Нормы выделения теплоты, углекислого газа и водяных паров (на одно животное)	160

Приложение 8.	Номенклатура, технические характеристики, коэффициенты теплопередачи и аэродинамические сопротивления воздухонагревателей (калориферов)	161
Приложение 9.	<i>is</i> -диаграмма водяного пара	168
Приложение 10.	Принципиальные схемы вентиляции животноводческих помещений	169
Приложение 11.	Конструкция приточной установки	172
Приложение 12.	Приближенные значения коэффициентов местных сопротивлений для некоторых элементов воздухопроводов	173
Приложение 13.	Сводный график характеристик вентиляторов	174
Приложение 14.	Аэродинамические характеристики вентиляторов ВЦ 4-75	175
Приложение 15.	Габаритные и присоединительные размеры вентиляторов ВЦ 4-75	180
Приложение 16.	Коэффициенты запаса мощности электродвигателей вентиляторов	185
Приложение 17.	Технические данные вентиляторов ВЦ 4-75 (исполнение 1)	185
Приложение 18.	Коэффициенты местных сопротивлений дроссель-клапана, шиберной заслонки и диафрагмы	188
Приложение 19.	Соотношение между единицами работы, энергии и количеством тепла	189
Приложение 20.	Соотношение между единицами измерения давления	189
Литература	190

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемое учебное пособие имеет цель – закрепление знаний, полученных студентами при изучении базового курса «Теплотехника», и творческое приложение теоретического материала на практике, т. е. выработка навыков применения теоретических сведений к решению инженерных задач.

Все задачи в пособии размещены в порядке изучения дисциплины в соответствии с рабочими программами по подготовке бакалавров направления 110800 «Агроинженерия».

Основные зависимости из теоретического курса следует черпать из соответствующих разделов рекомендуемой литературы.

Учебное пособие предназначено для студентов очной и заочной форм обучения.

1. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ТЕПЛОТЕХНИКЕ

1.1. Примеры решения задач по технической термодинамике

Задача 1.1.1. Выразить в единицах СИ давления: 367,7 мм рт. ст.; 882,6 мм рт. ст. и 300 мм вод. ст.

Решение. При решении данной задачи следует иметь в виду, что гидростатическое давление p в системе СИ измеряется в паскалях $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2 = 1 \text{ кг}/(\text{с}^2 \cdot \text{м})$:

$$p = \rho gh,$$

где ρ – плотность, кг/м^3 ; h – высота, м; g – ускорение свободного падения $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Плотность ртути 13600 кг/м^3 , плотность воды 1000 кг/м^3 .

1) $367,7 \text{ мм рт. ст} = 13600 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,81 \text{ м/с}^2 \cdot 0,3678 \text{ м} = 49,07 \text{ кПа}$.

2) $882,6 \text{ мм рт. ст} = 117,75 \text{ кПа} (13600 \cdot 9,81 \cdot 0,8826)$;

3) $300 \text{ мм вод. ст} = 2,94 \text{ кПа} (1000 \cdot 9,81 \cdot 0,3)$.

Задача 1.1.2. Газ при показании манометра $p_{\text{изб}} = 2,5 \text{ бар}$ и температуре $t_1 = 27^\circ\text{C}$ занимает объем $V_1 = 4,5 \text{ м}^3$. Привести объем газа к номинальным условиям: $p_{\text{н}} = 760 \text{ мм рт. ст}$; $t_{\text{н}} = 0^\circ\text{C}$; $p_{\text{бар}} = 1 \text{ бар}$; $p_1 = p_{\text{изб}} + p_{\text{бар}}$.

Решение. Переводим исходные данные в систему СИ:

$1 \text{ бар} = 1 \text{ ат} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 10^4 \text{ кгс/м}^2 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Па}$;

$p_1 = (2,5 + 1) \text{ бар} = 3,5 \cdot 9,81 \cdot 10^4 \text{ Па} = 34,335 \cdot 10^4 \text{ Па}$;

$T_1 = 27 + 273 = 300 \text{ К}$; $T_{\text{н}} = 273 \text{ К}$;

$p_{\text{н}} = 760 \text{ мм рт. ст.} = 13\,600 \cdot 9,81 \cdot 0,76 = 10,14 \cdot 10^4 \text{ Па}$.

Из уравнения состояния можно вывести формулу для номинального объема:

$$V_{\text{н}} = \frac{p_1 V_1 T_{\text{н}}}{p_{\text{н}} T_1} = \frac{34,335 \cdot 10^4 \cdot 4,5 \cdot 273}{10,14 \cdot 10^4 \cdot 300} = 13,87 \text{ м}^3.$$

Задача 1.1.3. В баллоне содержится воздух массой $m = 2 \text{ кг}$ при давлении $p = 8,3 \text{ МПа}$ и температуре $t = 15^\circ\text{C}$. Вычислить вместимость баллона V .

Решение. Из уравнения состояния

$$pV = mRT,$$

где T – абсолютная температура газа, К; R – газовая постоянная, Дж/(кг·К); для воздуха $R = 287,1 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; получаем

$$V = \frac{mRT}{p} = \frac{2 \cdot 287,1 \cdot (15 + 273)}{8,3 \cdot 10^6} = 0,02 \text{ м}^3.$$

Задача 1.1.4. В баллоне емкостью $V = 15$ л содержится воздух при давлении $p = 0,4$ МПа и температуре $t_1 = 30^\circ\text{C}$. Какова будет температура воздуха t_2 в результате подвода к нему $Q_{1,2} = 16$ кДж теплоты? Удельная изохорная теплоемкость $c_{vm} = 717$ Дж/(кг·К).

Решение. Исходные данные: $V = 15$ л = $0,015$ м³; $T = 30 + 273 = 303$ К; газовая постоянная для воздуха $R = 287,1$ Дж/(кг·К).

Из уравнения состояния определим массу воздуха $m = \frac{pV}{RT}$,

тогда
$$m = \frac{0,4 \cdot 10^6 \cdot 0,015}{287,1 \cdot 303} = 0,069 \text{ кг}.$$

Найдем конечную температуру t_2 . По определению количество теплоты, полученное телом $Q_{1,2} = mc_{vm}(t_2 - t_1)$,

откуда
$$t_2 = t_1 + \frac{Q_{1,2}}{mc_{vm}} = 30 + \frac{16 \cdot 10^3}{0,069 \cdot 717} = 353,4^\circ\text{C}.$$

Задача 1.1.5. Найти плотность ρ и удельный объем v кислорода при показании манометра $p_{\text{изб}} = 2$ бар и $t = 127^\circ\text{C}$.

Решение. Из уравнения состояния газа $p\nu = RT$

находим
$$v = \frac{RT}{p}.$$

Универсальная газовая постоянная $\mu R = 8314$ Дж/(кмоль·К), масса киломоля кислорода $\mu = 32$ кг/кмоль, тогда газовая постоянная для кислорода $R = 8314 / 32 = 259,8$ Дж/(кг·К).

Абсолютное давление $p = p_{\text{изб}} + 1 \text{ бар} = 3 \text{ бар} = 3 \cdot 9,81 \cdot 10^4 \text{ Па} = 29,43 \cdot 10^4 \text{ Па}$; $T = 127 + 273 = 400$ К. Для кислорода находим

$$v = \frac{259,8 \cdot 400}{29,43 \cdot 10^4} = 0,353 \text{ м}^3/\text{кг}, \quad \rho = \frac{1}{v} = \frac{1}{0,353} = 2,83 \text{ кг/м}^3.$$

Задача 1.1.6. В баллоне емкостью $V = 50$ л избыточное давление воздуха не должно превышать $p_{\text{изб}} = 12,0$ МПа. Температура и давление в помещении, где установлен баллон, составляют $t_{\text{вн}} = 20^\circ\text{C}$; $p_{\text{бар}} = 0,1$ МПа. За счет солнечной радиации температура сжатого воздуха в баллоне повысилась на $\Delta t = 10^\circ\text{C}$. Определить: а) избыточное давление в баллоне p_2 , МПа, после его нагрева солнечной радиацией;

б) массу воздуха, которую необходимо выпустить из баллона после его нагрева для поддержания заданного давления.

Решение. а) Абсолютное давление в баллоне должно иметь значение $p_1 = p_{\text{изб}} + p_{\text{бар}} = 12,0 + 0,1 = 12,1$ МПа.

Абсолютные температуры $T_1 = 20 + 273 = 293$ К, $T_2 = 20 + 10 + 273 = 303$ К.

Нагрев воздуха в баллоне без уменьшения его массы является изохорным процессом, для которого $\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1}$,

$$\text{откуда } p_2 = p_1 \frac{T_2}{T_1} = 12,1 \cdot \frac{303}{293} = 12,513 \text{ МПа,}$$

т. е. абсолютное давление воздуха в баллоне после нагрева на 10°C составит $P_{\text{абс}}^{\Delta} = 12,513$ МПа.

Тогда избыточное давление воздуха в баллоне после его нагрева без уменьшения его массы составит

$$P_{\text{изб}}^{\Delta} = P_{\text{абс}}^{\Delta} - P_{\text{бар}} = 12,513 - 0,1 = 12,413 \text{ МПа.}$$

б) По уравнению Клайперона определим массу воздуха в баллоне при заданных его параметрах

$$m_1 = \frac{p_1 V}{RT_1} = \frac{12,1 \cdot 10^6 \cdot 50 \cdot 10^{-3}}{287 \cdot 293} = 7,2 \text{ кг.}$$

Если давление в баллоне не повысится при нагреве воздуха до 30°C , то его масса должна быть

$$m_2 = \frac{p_1 V}{RT_2} = \frac{12,1 \cdot 10^6 \cdot 50 \cdot 10^{-3}}{287 \cdot 303} = 7,0 \text{ кг.}$$

Следовательно, для поддержания давления на заданном уровне при нагреве воздуха на 10°C из баллона необходимо выпустить воздух массой $\Delta m = m_1 - m_2 = 7,2 - 7,0 = 0,2$ кг.

Задача 1.1.7. До какого давления нужно сжать адиабатически смесь воздуха и паров бензина от давления $p_1 = 1$ бар $\approx 10^5$ Па при температуре $t_1 = 15^\circ\text{C}$, чтобы от повышения температуры наступило самовоспламенение? Дать схему процесса в pV -координатах. Температура воспламенения топливной смеси $t_2 = 520^\circ\text{C}$, коэффициент адиабаты $k = 1,39$.

Решение. Уравнение состояния в адиабатном процессе

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

откуда
$$p_2 = p_1 \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{k}{k-1}} = 10^5 \left(\frac{793}{288} \right)^{0,39} = 3,7 \text{ МПа.}$$

Схема процесса представлена на рисунке 1.1.1.

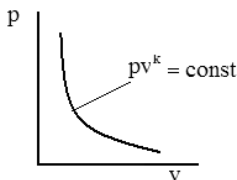


Рисунок 1.1.1 – Схема адиабатного процесса в p - v -координатах

Задача 1.1.8. Найти количество теплоты, подводимое к кислороду, масса которого $m = 0,2$ кг, при постоянном давлении для повышения его температуры от $t_1 = 600^\circ\text{C}$ до $t_2 = 2000^\circ\text{C}$.

Решение. Искомое количество теплоты найдем по уравнению

$$Q_{1,2} = mc_{pm}(t_2 - t_1).$$

В данном случае теплоемкость c_{pm} принимаем равной истинной удельной изобарной теплоемкости при среднеарифметической температуре t_m .

Средняя арифметическая температура

$$t_m = \frac{t_2 + t_1}{2} = \frac{600 + 2000}{2} = 1300^\circ\text{C}.$$

Определяем среднюю молярную изобарную теплоемкость в интервале температур $600 \dots 2000^\circ\text{C}$, как истинную теплоемкость при средней температуре интервала, равной 1300°C .

По справочным данным истинная теплоемкость кислорода при $t = 1300^\circ\text{C}$ равна $c_{pm} = 1,15$ кДж/(кг \cdot °C).

Количество подведенной теплоты

$$Q_{1,2} = 0,2 \cdot 1,15 \cdot 10^3 (2000 - 600) = 322 \text{ кДж.}$$

Задача 1.1.9. Найти удельную газовую постоянную $R_{см}$ смеси, состоящую из азота с приведенным объемом $V_{N_2} = 0,4$ м³ и кислорода с приведенным объемом $V_{O_2} = 0,2$ м³.

Решение. Общий объем смеси

$$V = V_{N_2} + V_{O_2} = 0,4 + 0,2 = 0,6 \text{ м}^3.$$

Объемные (или молярные) концентрации компонентов:

$$x_{O_2} = \frac{V_{O_2}}{V} = \frac{0,2}{0,6} = 0,333; \quad x_{N_2} = \frac{V_{N_2}}{V} = \frac{0,4}{0,6} = 0,667.$$

Контрольное уравнение $x_{O_2} + x_{N_2} = 0,333 + 0,667 = 1.$

Молярная масса смеси

$$M_{\text{см}} = x_{O_2} \cdot M_{O_2} + x_{N_2} \cdot M_{N_2},$$

где M_{O_2} , M_{N_2} – молярные массы кислорода и азота соответственно;

$$M_{O_2} = 32 \text{ кг/кмоль}, \quad M_{N_2} = 28,01 \text{ кг/кмоль}.$$

$$M_{\text{см}} = 0,333 \cdot 32 + 0,667 \cdot 28,01 = 29,34 \text{ кг/кмоль}.$$

Удельная газовая постоянная смеси

$$R_{\text{см}} = \frac{\mu R}{M_{\text{см}}},$$

где μR – универсальная газовая постоянная, $\mu R = 8314 \text{ Дж/(кмоль} \cdot \text{К)}$.

$$R_{\text{см}} = \frac{8314}{29,34} = 283,4 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}.$$

Задача 1.1.10. В пусковом баллоне дизеля вместимостью $V = 0,3 \text{ м}^3$ содержится воздух, плотность которого равна $\rho = 2,86 \text{ кг/м}^3$. Определить массу воздуха в баллоне.

Решение. Массу воздуха m найдем из определения плотности

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad \text{откуда} \quad m = \rho V,$$

$$m = 2,86 \cdot 0,3 = 0,858 \text{ кг}.$$

Задача 1.1.11. Найти, какая часть теплоты, подведенной в изобарном процессе к двухатомному удельному газу, расходуется на увеличение его внутренней энергии.

Решение. Удельное количество теплоты, подведенное в изобарном процессе

$$q_{1,2} = c_{pm} (T_2 - T_1).$$

Из этого количества теплоты на увеличение удельной внутренней энергии затрачивается

$$u_2 - u_1 = c_{vm} (T_2 - T_1).$$

Следовательно, доля удельной теплоты, затрачиваемая на изменение удельной внутренней энергии, равна

$$\frac{u_2 - u_1}{q_{1,2}} = \frac{c_{vm}(T_2 - T_1)}{c_{pm}(T_2 - T_1)} = \frac{c_{vm}}{c_{pm}}.$$

Для двухатомных газов отношение $\frac{c_{vm}}{c_{pm}} = \frac{1}{k} = \frac{1}{1,4} = 0,71$.

Следовательно, из всей теплоты, подводимой в этом процессе, на изменение удельной внутренней энергии идеального двухатомного газа, т. е. на повышение его температуры, расходуется 71%.

Задача 1.1.12. Определить процессы, изображенные на диаграмме в p - v -координатах (рис. 1.1.2), и указать законы, которые описывают эти процессы.

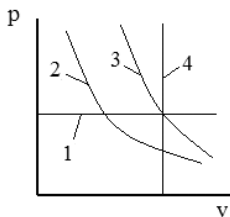


Рисунок 1.1.2 – Изопроцессы в p - v -координатах

Решение. 1 – изобарный процесс, $p = \text{const}$; 2 – изотермический процесс, $pv = \text{const}$; 3 – адиабатный процесс, $pv^k = \text{const}$; 4 – изохорный процесс, $v = \text{const}$.

Задача 1.1.13. Определить процессы, изображенные на диаграмме в T - s -координатах (рис. 1.1.3), и указать законы, описывающие эти процессы.

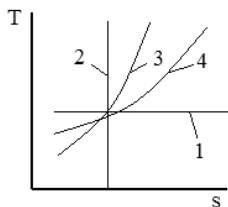


Рисунок 1.1.3 – Изопроцессы в T - s -координатах

Решение.

1 – изотермический процесс, $T = \text{const}$, $pv = \text{const}$; 2 – адиабатный процесс, $pv^k = \text{const}$; 3 – изохорный процесс, $v = \text{const}$; 4 – изобарный процесс, $p = \text{const}$.

Задача 1.1.14. В точке 1 процесса 1-2: газовая постоянная $R = 300$ кДж/(кг·К), температура $T = 1000$ К, удельный объем $v = 3$ м³/кг (рис. 1.1.4). Определить давление в процессе.

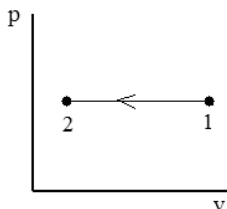


Рисунок 1.1.4 – Процесс в pv -координатах

Решение. Для решения воспользуемся характеристическим уравнением состояния газа

$$pv = RT, \quad \text{откуда} \quad p = \frac{RT}{v},$$

$$p = \frac{1000 \cdot 300}{3} = 10^5 \text{ Па} = 0,1 \text{ МПа}.$$

Задача 1.1.15. В точке 1 процесса 1-2: $T_1 = 400$ К; в точке 2: $T_2 = 40$ К, $p_2 = 1$ кПа. Определить давление в точке 1 (рис. 1.1.5).

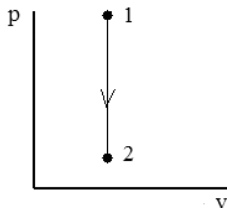


Рисунок 1.1.5 – Процесс 1-2 в pv -координатах

Решение.

По закону Шарля при $v = \text{const}$

$$\frac{p}{T} = \text{const}, \quad \text{т. е.} \quad \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}, \quad \text{откуда}$$

$$p_1 = \frac{T_1 p_2}{T_2} = \frac{400 \cdot 1000}{40} = 10^4 \text{ Па} = 10 \text{ кПа.}$$

Задача 1.1.16. Показатель адиабаты процесса 1-2 (рис. 1.1.6): $k = 1,4$. Какой газ является рабочим телом из четырех предложенных: аргон, окись углерода, двуокись углерода или пары этилового спирта?

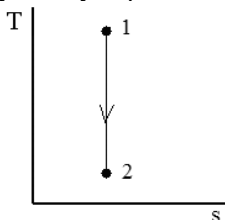


Рисунок 1.1.6 – Процесс 1-2 в Ts -координатах

Решение. Показатель адиабаты $k = 1,4$ для двухатомного газа. Из четырех газов двухатомным является окись углерода CO .

Задача 1.1.17. Какая работа расширения совершена в процессе 1-2 (рис. 1.1.7)?

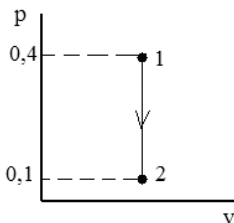


Рисунок 1.1.7 – Процесс 1-2 в $p\nu$ -координатах

Решение. Процесс 1-2 изохорный, в котором работа расширения равна нулю.

Задача 1.1.18. В каком процессе (рис. 1.1.8) совершена наибольшая работа (наименьшая)?

Решение. Работа в процессе определяется площадью, ограниченной линией процесса, осью абсцисс и крайними ординатами. Наи-

большую площадь образует процесс 1 а 2, наименьшую – 1 с 2. Следовательно, наибольшая работа совершена процессом 1 а 2, наименьшая – 1 с 2.

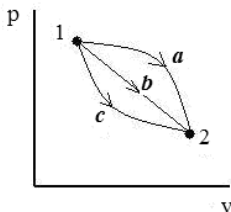


Рисунок 1.1.8 – Процессы 1-2 в p v -координатах

Задача 1.1.19. По каким процессам (рис. 1.1.9) происходит сжатие рабочего тела в поршневом компрессоре? По какому процессу затрачивается минимальная работа?

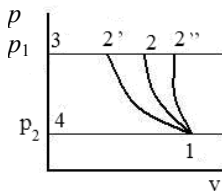


Рисунок 1.1.9 – Процессы в поршневом компрессоре в p v -координатах

Решение. Сжатие и выталкивание рабочего тела в компрессоре происходит в процессах 1-2-3. Процессы: 1-2' – изотермический, p $v = \text{const}$; 1-2 – политропный, p $v^n = \text{const}$; 1-2'' – адиабатный, p $v^k = \text{const}$.

Минимальная работа затрачивается при осуществлении изотермического процесса, так как площадь 1-2'-3-4-1 минимальна.

Задача 1.1.20. Количество удельной теплоты в процессе 1-2 (рис. 1.1.10) равно $q = 500$ Дж/кг. Определить удельную энтропию в точке 2.

Решение. Изменение удельной энтропии $\Delta s = s_2 - s_1$ определятся уравнением

$$\Delta s = \frac{\Delta q}{T} = \frac{500}{200} = 2,5 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К}).$$

Тогда $s_2 = \Delta s + s_1 = 2,5 + 5 = 7,5$ Дж/(кг·К).

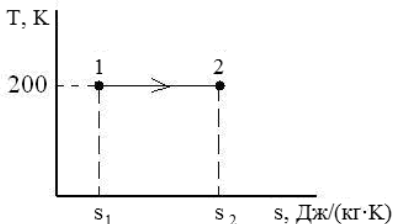


Рисунок 1.1.10 – Определение удельной энтропии по графику в Ts -координатах

Задача 1.1.21. Как вычислить работу процесса 1-1 (рис. 1.1.11)?

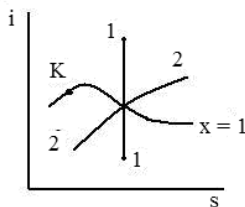


Рисунок 1.1.11 – Процесс 1-1 в is -координатах

Решение. Работа в изоэнтропном (адиабатном) процессе определяется разницей энтальпий начала и конца процесса: $l = \Delta i$.

Задача 1.1.22. Каким соотношением определяется коэффициент полезного действия η цикла $1a2b1$ (рис. 1.1.12)?

Решение. Коэффициент полезного действия цикла определяется отношением полезной работы в цикле к затраченной энергии. В цикле полезная работа $l_{ц} = q_1 - q_2$; затраченная энергия определяется величиной q_1 .

Тогда
$$\eta = \frac{l_{ц}}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1}.$$

Конец ознакомительного фрагмента.
Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru