

## Содержание

Задача 1.2. ....	3
Задача 2.2. ....	6
Задача 5.1 ....	11
Список использованных источников .....	14
Приложения .....	15

### Задача 1.2.

Для тушения пожара в сушильной печи предусмотрена установка парового пожаротушения с ручным пуском. При возникновении пожара в распределительный (перфорированный) трубопровод установки подается водяной пар из технологического паропровода, абсолютное давление пара в котором  $p_1$  и степень сухости  $x$ .

Определить скорость истечения пара  $w$  из отверстий перфорированного паропровода и необходимое количество отверстий диаметром  $d$  в паропроводе при подаче в сушильную печь пара в количестве  $G$ . Коэффициент скорости при истечении пара через отверстие  $\varphi = 0,9$ . Барометрическое давление  $p_c = 0,1$  МПа.

Решить задачу аналитически (принимая пар за идеальный газ) и графо-аналитически, используя  $is$ -диаграмму водяного пара.

Исходные данные:  $p_1 = 0,18$  МПа;  $x = 0,98$ ;  $d = 0,003$  м;  $G = 0,3$  кг/с.

#### Решение

А) Аналитическое решение

1. Вычисляем показатель адиабаты

$$k = 1,035 + 0,1 \cdot 0,98 = 1,133$$

2. Критическое отношение давлений:

$$\beta_{кр} = \left( \frac{2}{1,133 + 1} \right)^{\frac{1,133}{1,133 - 1}} = 0,577$$

3. Отношение давлений:

$$\frac{p_c}{p_1} = \frac{0,1 \cdot 10^6}{0,18 \cdot 10^6} = 0,556 < \beta_{кр}$$

Удельный объем пара находим по таблице термодинамических свойств водяного пара

$$v_1 = 0,995 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

Площадь отверстия

$$f = 3,14 \cdot \frac{0,003^2}{4} = 7,065 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

Расход пара из одного отверстия

$$G_1 = 0,85 \cdot 7,065 \cdot 10^{-6} \left( \frac{2}{1,133 + 1} \right)^{\frac{1}{1,133-1}} \sqrt{2 \frac{1,133}{1,133 + 1} \frac{0,18 \cdot 10^6}{0,995}} =$$
$$= 0,0016 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

Скорость истечения

$$w = \sqrt{2 \frac{1,133}{1,133 + 1} 0,18 \cdot 10^6 \cdot 0,995} = 436 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

4. Количество отверстий в распределительном трубопроводе:

$$n = \frac{0,3}{0,0016} = 185$$

Б) Графоаналитическое решение

По *is*- диаграмме определяем

$$i_1 = 2655 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}; i_2 = 2555 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}; v_2 = 1,6 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

Расход пара из одного отверстия

$$G_1 = \frac{0,85 \cdot 7,065 \cdot 10^{-6} \sqrt{2 \cdot (2655 - 2555) \cdot 10^3}}{1,6} = 0,0017 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

Скорость истечения

$$w = \sqrt{2 \cdot (2655 - 2555) \cdot 10^3} = 447 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Полученные результаты с достаточной степенью точности совпадают с аналитическими значениями.

## Задача 2.2.

Поршневой двигатель внутреннего сгорания (ДВС), работающий по циклу Тринклера со смешанным подводом теплоты, имеет следующие характеристики цикла:

- степень сжатия  $\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$ ;
- степень повышения давления  $\lambda = \frac{p_3}{p_2}$ ;
- степень предварительного расширения  $\rho = \frac{v_4}{v_3}$ .

Принимая в качестве рабочего тела 1 кг газовой смеси заданного массового состава с начальными параметрами  $p_1 = 0,1$  МПа и  $T_1 = 293$  К, определить параметры состояния ( $p, v, T$ ) в характерных точках цикла, а также для каждого процесса, входящего в цикл:

- количество подводимой и отводимой теплоты  $q$ ;
- изменение внутренней энергии  $\Delta u$ ;
- изменение энтальпии  $\Delta i$ ;
- изменение энтропии  $\Delta s$ ;
- совершаемую или затрачиваемую работу  $l$ ;
- работу цикла  $l_{\text{ц}}$  и термический КПД  $\eta_t$

Результаты расчетов свести в таблицы. Построить цикл в  $pv$  – и  $Ts$  – координатах в масштабе.

Исходные данные:  $\varepsilon = 14$ ;  $\lambda = 3,0$ ;  $\rho = 1,4$ ;  $g_{O_2} = 0,05$ ;  $g_{N_2} = 0,72$ ;  
 $g_{CO_2} = 0,15$ ;  $g_{H_2O} = 0,08$ .

### Решение

1. Молекулярные массы компонентов смеси:

$$\mu_{O_2} = 16 \cdot 2 = 32;$$

$$\mu_{N_2} = 14 \cdot 2 = 28;$$

$$\mu_{CO_2} = 12 + 16 \cdot 2 = 44;$$

$$\mu_{H_2O} = 1 \cdot 2 + 16 = 18$$

Молекулярная масса смеси

$$\mu_{\text{см}} = \frac{1}{\frac{0,05}{32} + \frac{0,72}{28} + \frac{0,15}{44} + \frac{0,08}{18}} = 28,47$$

Газовая постоянная смеси:

$$R_{\text{см}} = \frac{8314}{28,47} = 292 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

2. Газовые постоянные компонентов:

$$R_{O_2} = \frac{8314}{32} = 259,8 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; R_{N_2} = \frac{8314}{28} = 296,9 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}};$$
$$R_{CO_2} = \frac{8314}{44} = 189,0 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; R_{H_2O} = \frac{8314}{18} = 462 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Удельные теплоемкости компонентов

$$c_{pO_2} = \frac{1,4}{1,4 - 1} 259,8 = 909,3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; c_{vO_2} = \frac{259,8}{1,4 - 1} = 649,5 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \text{К}};$$
$$c_{pN_2} = \frac{1,4}{1,4 - 1} 296,9 = 1039,3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; c_{vN_2} = \frac{296,9}{1,4 - 1} = 742,3 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \text{К}};$$
$$c_{pCO_2} = \frac{1,3}{1,3 - 1} 189,0 = 818,8 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; c_{vCO_2} = \frac{189,0}{1,3 - 1} = 629,8 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \text{К}};$$
$$c_{pH_2O} = \frac{1,3}{1,3 - 1} 462 = 2001,5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; c_{pCO_2} = \frac{462}{1,3 - 1} = 1539,6 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \text{К}}$$

Удельная теплоемкость смеси при постоянном давлении

$$c_{p \text{ см}} = 0,05 \cdot 909,3 + 0,72 \cdot 1039,3 + 0,15 \cdot 818,8 + 0,08 \cdot 2001,5 =$$

$$= 1076,7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}};$$

Удельная теплоемкость смеси при постоянном объеме

$$c_{v \text{ см}} = 0,05 \cdot 649,5 + 0,72 \cdot 742,3 + 0,15 \cdot 629,8 + 0,08 \cdot 1539,6 =$$

$$= 784,6 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}.$$

3. Показатель адиабаты рабочего тела:

$$k = \frac{1013,8}{729,8} = 1,37$$

4. Параметры состояния рабочего тела в узловых точках находим из уравнений состояния и вытекающих из них свойств адиабатного, изохорного, изобарного процессов, присутствующих в цикле. Результаты расчетов сводим в таблицу

Точки	$p$	$v$	$T$
1	0,1	0,856	293
2	3,739	0,062	782,57
3	11,218	0,062	2347,72
4	11,218	0,086	3286,81
5	0,476	0,856	1394,81

5. Количество подводимого тепла:

$$q_1' = 784,6 \cdot (2347,72 - 782,57) = 1,223 \cdot 10^6 \text{ Дж};$$

$$q_1'' = 1076,7 \cdot (3286,81 - 2347,72) = 1,011 \cdot 10^6 \text{ Дж};$$

Количество отводимого тепла:

$$q_2 = 784,6 \cdot (1394,81 - 293) = 0,864 \cdot 10^6 \text{ Дж.}$$

6. Параметры процессов, входящих в цикл

Процесс	$\Delta u,$ МДж	$\Delta i,$ МДж	$\Delta s$ кДж/К	$l,$ МДж	$q,$ МДж
1-2	0,384	0,527	0	-0,384	0
2-3	1,223	1,685	0,862	0	1,223
3-4	0,737	1,011	0,362	0,274	1,011
4-5	-1,484	-2,037	0	1,484	0
5-1	-0,864	-1,186	-1,224	0	-0,864
Сумма за цикл	0	0	0	1,375	1,375

7. Работа цикла

$$l_{\text{ц}} = 1,375 \text{ МДж}$$

8. Термический КПД цикла

$$\eta_t = 1 - \frac{0,864}{1,223 + 1,011} = 0,614.$$

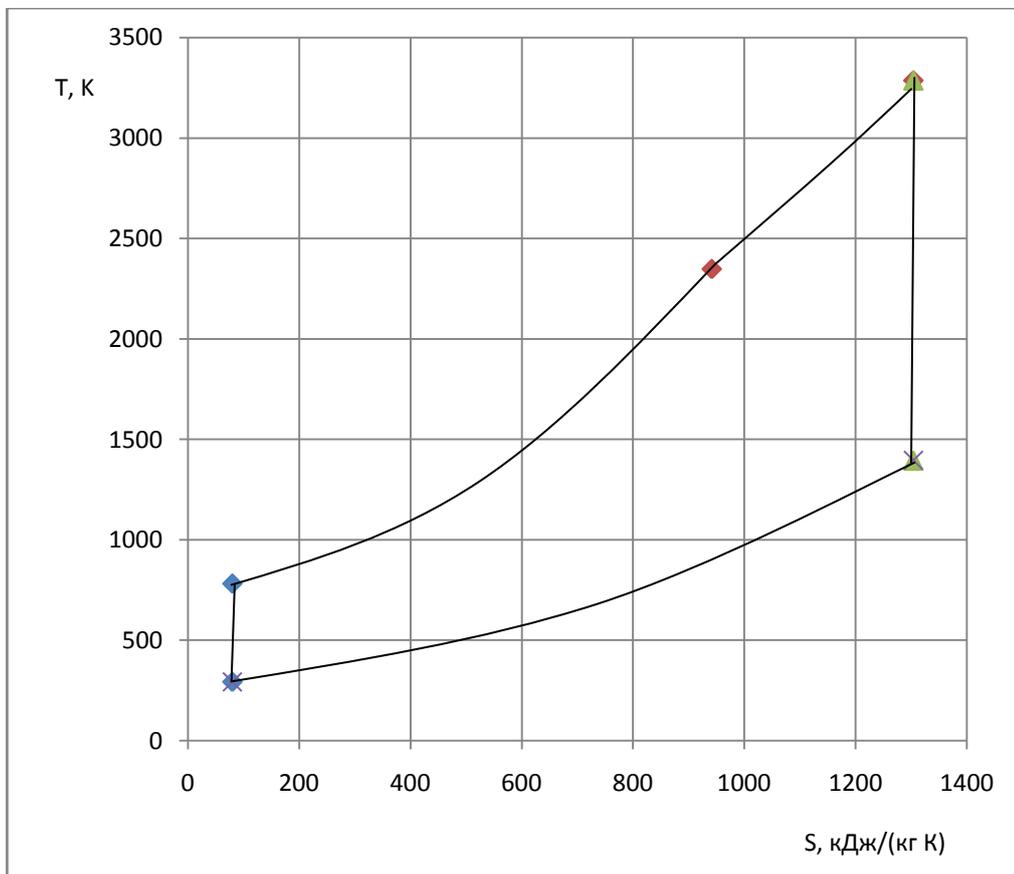
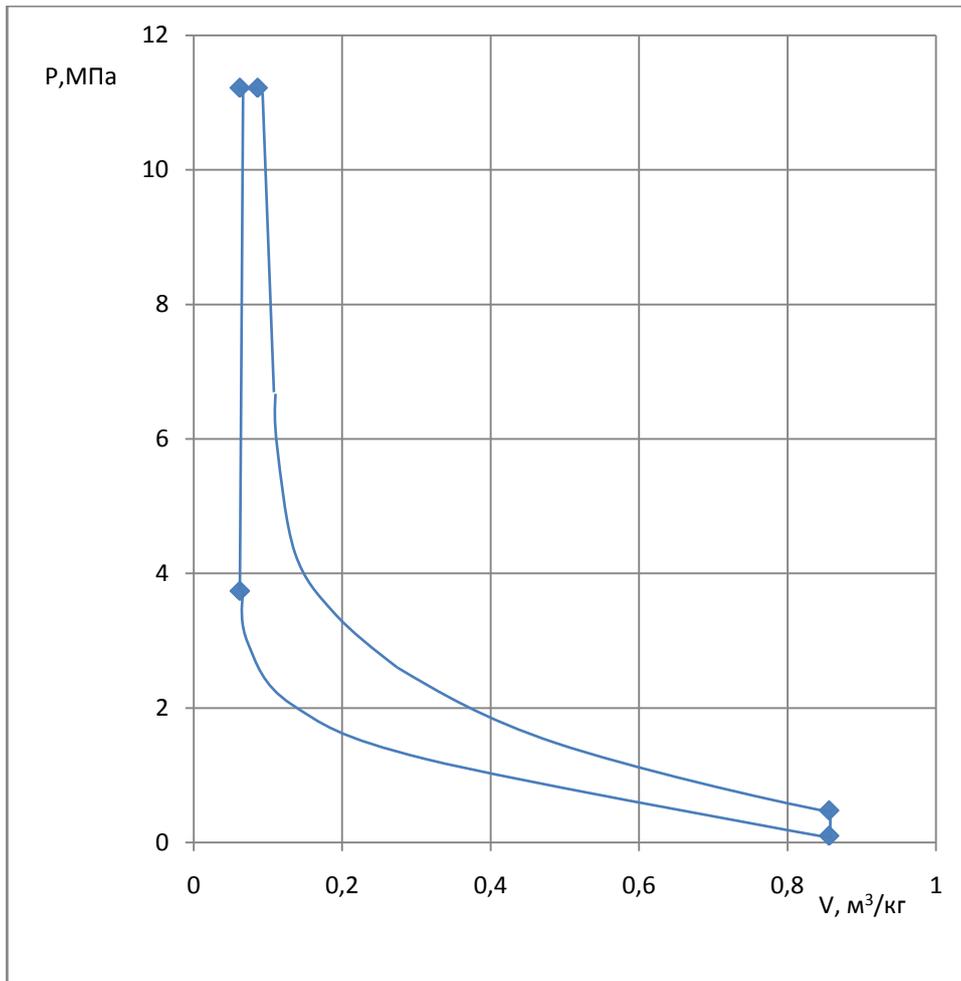
9. Чтобы построить  $T - S$  диаграмму, необходимо сначала вычислить значения энтропии для каждой характерной точки цикла. Энтропию в точке 1 вычислим по формуле,

$$S_1 = 1076,7 \cdot \ln \frac{293}{273} - 284 \cdot \ln \frac{0,1}{0,1013} = 79,894 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$S_2 = 79,894 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; S_3 = 79,894 + 861,966 = 941,860 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}};$$

$$S_4 = 941,860 + 362 = 1304,130 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}};$$

$$S_5 = 1304,130 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; S_1 = 1304,130 - 1224,236 = 79,894 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$



### Задача 5.1

Рассчитать температурное поле в перекрытии через  $\tau$  мин после начала нагревания. Установить время достижения на рабочей арматуре температуры 550 °С.

Перекрытие представляет собой сплошную железобетонную плиту толщиной 18 см. Толщина бетона от нижней грани до центра тяжести рабочей арматуры 2 см. Коэффициенты теплопроводности железобетона  $\lambda = 1,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$  температуропроводности  $a = 5,6 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ . Перекрытие подвергается одностороннему нагреванию в условиях пожара. Температура греющей среды изменяется во времени по закону  $t_{\text{г}} = A \lg(8\tau + 1)$  (здесь время  $\tau$  измеряется в минутах).

Начальная температура перекрытия 20 °С, такую же температуру имеет воздух над перекрытием.

Задачу решить графически методом конечных разностей.

Исходные данные:  $A = 340$ ;  $\tau = 40$  мин.

Решение

1. Максимальная температура греющей среды под перекрытием

$$t_{\text{г max}} = 340 \lg(8 \cdot 40 + 1) = 852,2 \text{ °С}$$

2. Максимальное значение коэффициента теплоотдачи на обогреваемой поверхности за период нагревания

$$\alpha_{1 \text{ max}} = 11,63 \exp(0,0023 \cdot 852,2) = 82,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

3. Установим максимальную толщину расчетного слоя

$$\Delta x = \frac{2\lambda}{\alpha_{1 \text{ max}}} = \frac{2 \cdot 1,2}{82,6} = 0,029 \text{ м}$$

Число слоев:

$$n = \frac{0,18}{0,029} = 6,2$$

Принимаем  $n = 7$  и уточняем толщину слоя

$$\Delta x = \frac{0,18}{7} = 0,257 \text{ м}$$

4. Максимальный расчетный интервал времени

$$\Delta \tau = \frac{0,257^2}{2 \cdot 5,6 \cdot 10^{-7}} = 590 \text{ с} \approx 10 \text{ мин}$$

5. По заданному уравнению изменения температуры греющей среды рассчитаем ее температуру через  $\Delta \tau, 2\Delta \tau, 3\Delta \tau, \tau$

Таблица 1

$\tau$ , мин	$t_r$ , °C	$\alpha_1, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$	$\frac{\lambda}{\alpha_1}$ , м
10	648,9	51,72924	0,023198
20	750,3	65,3218	0,018371
30	809,9	74,91284	0,016019
40	852,2	82,57235	0,014533

6. Методом конечных разностей графическим способом строим температурное поле в перекрытии (Рисунок 2).

7. Из построения видим, что за отведенное в условии время температура на рабочей арматуре не успевает достигнуть заданного значения 550 °C

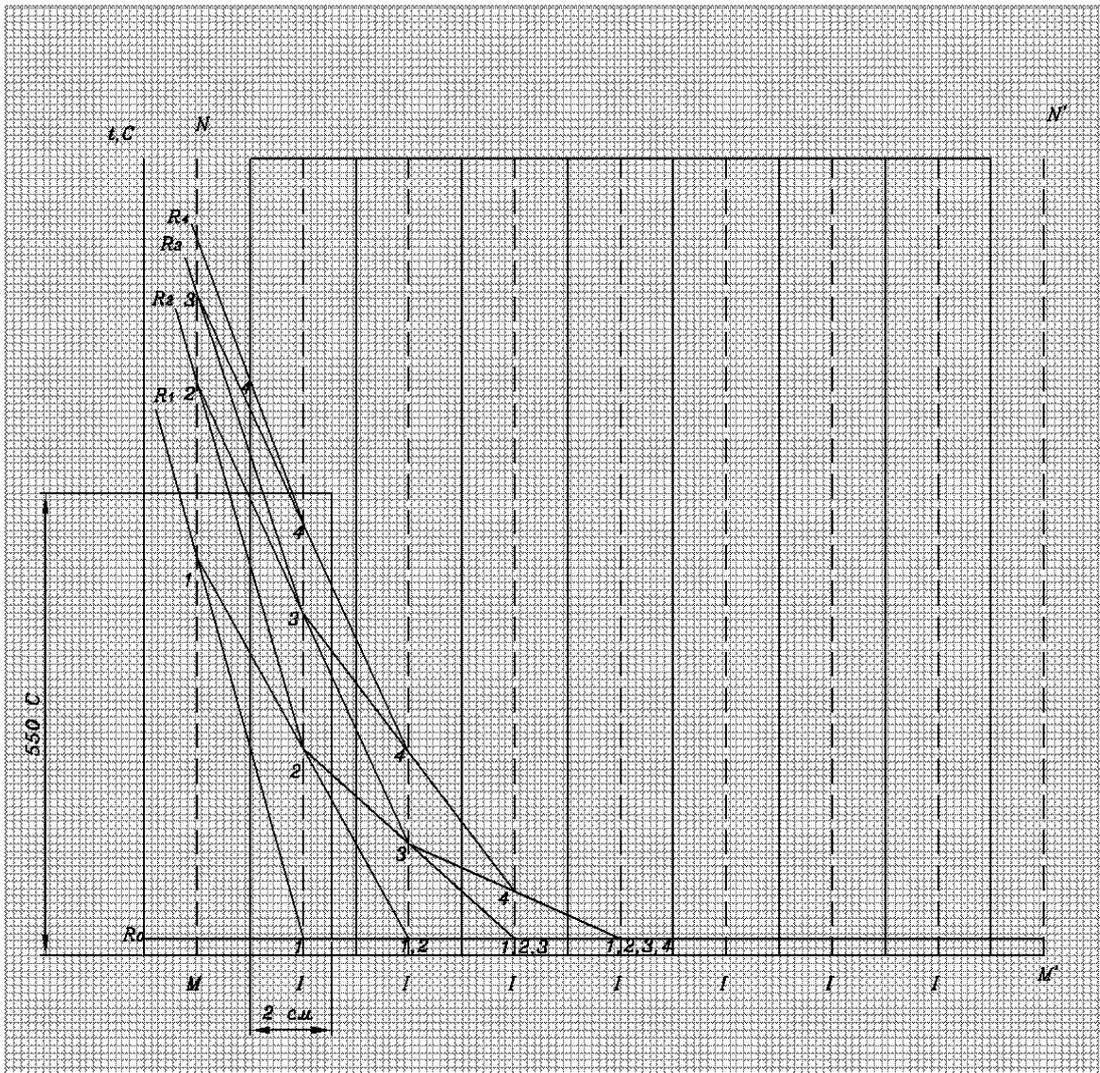


Рисунок 2

## Список использованных источников

1. Кошмаров. Ю.А. Теплотехника. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006.
2. Задачник по термодинамике и теплопередаче. Ч.П. Стационарные процессы тепломассообмена: Учебное пособие / Андреев В.В., Башкирцев М.П., Козлов Ю.И. и др. – М.: МИПБ МВД России, 1999.
3. Лимонов В.Г., Поповский В.И. Задачник по термодинамике и теплопередаче. Ч.1 Техническая термодинамика / под ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.А. Кошмарова. – М.: ВИПТШ МВД России, 1996.
4. Термодинамика и теплопередача. Программа для высших учебных заведений МВД РФ. – М.: ВИПТШ МВД РФ, 1993.

# Приложения

