

Министерство образования и науки Республики Бурятия

Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
«Гусиноозерский энергетический техникум»

Методические рекомендации

по выполнению расчетно–графической работы по профессиональному
модулю 01 «Техническое обслуживание котельного оборудования на ТЭС»
специальности 13.02.01 «Тепловые электрические станции» для заочного
отделения

Методические рекомендации составил:

Волкова Галина Валентиновна, преподаватель ГБПОУ «Гусиноозерский энергетический техникум».

Рецензент: Белых Любовь Владимировна

Содержание

1. Введение
2. Краткое описание основных параметров
3. Варианты состава газовой смеси и их графики
4. Порядок выполнения расчетно-графической работы
5. Расчетные формулы для процессов
6. Пример выполнения задачи
7. Контрольные вопросы
8. Список использованной литературы

Введение

Данные рекомендации предназначены для студентов специальности 13.02.01 «Тепловые электрические станции» для очной и заочной формы обучения.

Рекомендации составлены в соответствии с типовой программой ПМ.01 «Обслуживание котельного оборудования на ТЭС».

Предназначены для выполнения расчетно-графической работы, используя табличные данные из учебной литературы, таблицы для расчетов

Основная направленность содержания рекомендаций в раскрытии и анализе рабочих процессов, протекающих в котельных агрегатах, что соответствует характеру подготовки специалистов, рассмотрены принципы газовых процессов.

В процессе выполнения заданий студенты также используют справочный материал, лекции, усваивают основные понятия технической термодинамики, выполняют расчеты по термодинамическим процессам идеальных газов. При решении задач студенты усваивают и закрепляют понятия физических величин, характеризующих эти понятия (давление, температура, удельный объем, внутренняя энергия, энтальпия, энтропия и др.), их обозначений и единиц измерения.

Краткое описание:

Термодинамика изучает закономерности превращения энергии в разнообразных физических и химических процессах.

Основные параметры состояния газа:

1. Давление газа есть средний результат ударов большого количества частиц о стенки сосуда, в котором находится газ; измеряется в системе СИ-

$$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$$

$$1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па} = 10^2 \text{ кПа} = 0,1 \text{ МПа}$$

$$1 \text{ ат} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 10^4 \text{ кгс/м}^2$$

Давление атмосферного воздуха измеряется барометром и называется барометрическим и обозначается $P_{\text{бар}}$.

Давление газа, больше атмосферного, измеряется манометром и называется манометрическим или избыточным, и обозначается $P_{\text{изб}}$

Если давление газа меньше атмосферного, то оно образует разрежение или вакуум и обозначается $P_{\text{вак}}$.

2. Температура характеризует тепловое состояние тела. Параметром состояния является абсолютная температура, температура обозначается $T(\text{К})$ и $t(^{\circ})$

3. Удельным объемом называется объем 1 кг газа и обозначается $v (\text{м}^3/\text{кг})$

Удельной теплоемкостью называется количество теплоты, которое необходимо сообщить единице количества газа для изменения температуры на 1°C в данном процессе. Теплоемкость находится по формуле:

$$C_{\text{рм}} = \frac{C_{\text{рм}|0}^{t_2} * t_2 - C_{\text{рм}|0}^{t_1} * t_1}{t_2 - t_1} \text{ при этом значение теплоемкостей смотрят в таблице 1}$$

Средняя массовая теплоемкость различных газов

Таблица 1

$T, ^{\circ}\text{C}$	O_2	N_2	H_2	CO	CO_2	SO_2	H_2O	Воздух
0	0,9148	1,0392	14,195	1,0396	0,8148	0,607	1,8594	1,0036
100	0,9232	1,0404	14,353	1,0417	0,8658	0,638	1,8728	1,0061
200	0,9353	1,0434	14,421	1,0463	0,9102	0,662	1,8937	1,0115
300	0,9500	1,0488	14,446	1,0538	0,9487	0,687	1,9192	1,0191
400	0,9651	1,0567	14,477	1,0634	0,9826	0,708	1,9477	1,0283
500	0,9793	1,0880	14,509	1,0748	1,0128	0,724	1,9778	1,0387
600	0,9927	1,0760	14,542	1,0861	1,0396	0,734	2,0092	1,0496
700	1,0048	1,0869	14,587	1,0978	1,0639	0,754	2,0419	1,0605
800	1,0157	1,0974	14,641	1,1091	1,0852	0,762	2,0754	1,0710
900	1,0258	1,1076	14,706	1,1200	1,1045	0,775	2,1097	1,0815
1000	1,0350	1,1179	14,776	1,1304	1,1225	0,783	2,1436	1,0907
1100	1,0434	1,1271	14,853	1,1401	1,1384	0,791	2,1771	1,0999
1200	1,0509	1,1359	14,934	1,1493	1,1530	0,795	2,2105	1,1062
1300	1,0580	1,1447	15,023	1,1577	1,1650	-	2,2429	1,1168
1400	1,0847	1,1526	15,113	1,1656	1,1782	-	2,2743	1,1242
1500	1,0714	1,1602	15,202	1,1731	1,1895	-	2,3048	1,1313

Основные процессы, в которых какой-либо из основных параметров не меняется или процесс осуществляется без теплообмена с внешней средой. Таких процессов четыре:

1. Изохорный при постоянном объеме ($v = \text{const}$)
2. Изобарный при постоянном давлении ($P = \text{const}$)
3. Изотермический при постоянной температуре ($t = \text{const}$)
4. Адиабатный при уравнении $dq=0$
5. Частный случай- политропный процесс при уравнении $PV^n = \text{const}$

При изучении процессов определяют:

- зависимость между изменяющимися параметрами состояния газа
- количество теплоты, подводимой к газу и изменение его внутренней энергии
- работу, совершаемую газом при расширении.

1. По вариантам выбираем состав смеси и график с основными параметрами (таблица 2)

№ варианта	Способ задания смеси	Состав газовой смеси						
		CO ₂	H ₂	CO	N ₂	H ₂ O	SO ₂	O ₂
1	объемный	10	-	-	50	11	-	29
2	объемный	10	-	2	80	-	-	8
3	объемный	-	5	15	70	10	-	-
4	объемный	13	-	-	75	6	-	6
5	объемный	-	10	30	50	10	-	-
6	объемный	5	30	10	55	-	-	-
7	объемный	14	-	-	77	5	-	4
8	объемный	-	5	20	75	-	5	-
9	объемный	-	-	-	60	15	10	15
10	объемный	15	-	-	75	5	-	5
11	объемный	20	-	10	-	15	-	55
12	объемный	16	-	-	75	5	-	4
13	объемный	8	5	2	85	-	-	-
14	объемный	15	-	-	75	5	-	5
15	объемный	-	20	10	50	-	-	20
16	массовый	18	-	1	65	-	16	-
17	массовый	-	15	-	45	15	-	25
18	массовый	14	-	-	76	6	-	4
19	массовый	-	2	25	65	-	8	-
20	массовый	-	10	-	70	-	15	5
21	массовый	10	-	-	75	5	-	10
22	массовый	-	5	10	80	-	-	5
23	массовый	17	-	-	74	5	-	4
24	массовый	10	10	20	60	-	-	-
25	массовый	-	2	28	55	-	15	-
26	массовый	15	-	-	47	7	-	31
27	массовый	-	17	40	13	-	30	-
28	массовый	12	-	-	74	5	-	9

29	массовый	-	8	15	62	-	15	-
30	массовый	10	-	8	80	5	-	5

2. Находим молекулярную массу всей смеси по формуле:

- для объемных долей $\mu_{\text{см}} = (r_1 \mu_1) + (r_2 \mu_2) + (r_3 \mu_3) + (r_4 \mu_4)$

- для массовых долей $\mu_{\text{см}} = 1 / [(q_1 / \mu_1) + (q_2 / \mu_2) + (q_3 / \mu_3) + (q_4 / \mu_4)]$

Где: r, q- % соотношение заданных компонентов, μ - молекулярная масса заданных компонентов, находится по таблице Менделеева

3. Находим универсальную газовую постоянную всей смеси по формуле:

- для массовых долей $R_{\text{см}} = (q_1 R_1) + (q_2 R_2) + (q_3 R_3) + (q_4 R_4)$

- для объемных долей $R_{\text{см}} = 1 / [(r_1 / R_1) + (r_2 / R_2) + (r_3 / R_3) + (r_4 / R_4)]$

Где: R- универсальная газовая заданных компонентов и находится по формуле $R = 8314 / \mu$

4. Определяем параметры P, T, v для основных точек цикла

5. Полученные данные занести в таблицу 3

Параметры процессов

Таблица 3

Точки/параметры	P, бар	v , м ³ /кг	T, К

6. На основании определенных параметров построить цикл в масштабе в P v и TS – диаграммах

7. Определить значение теплоемкостей C_{pm} и C_{vm} для каждого процесса

8. Найти значения внутренней энергии (ΔI), энтальпии (Δh), энтропии (ΔS) в каждом процессе

9. Определить теплоту (q) и работу (L) в каждом процессе

10. Результаты таблицы внести в таблицу 4

Параметры циклов процессов

Таблица 4

Процессы	n	C_{pm}	C_{vm}	ΔI	Δh	ΔS	q	L
1-2								
2-3								
3-4								
4-1								

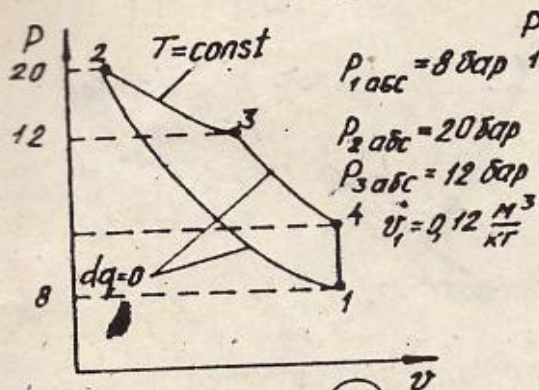
11. Найти работу цикла

12. Определить термический КПД цикла

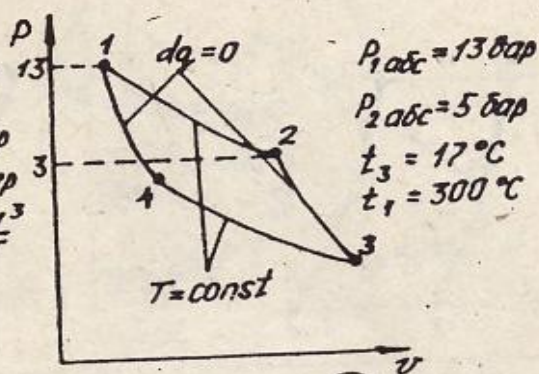
13. Контрольные вопросы по вариантам

Данные к расчетной работе составлены в форме циклов, изображенных в PV-координатах.

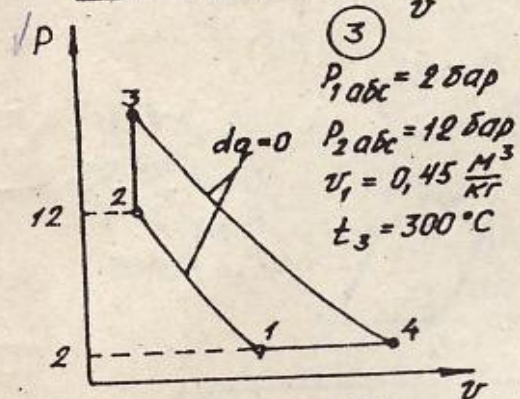
①



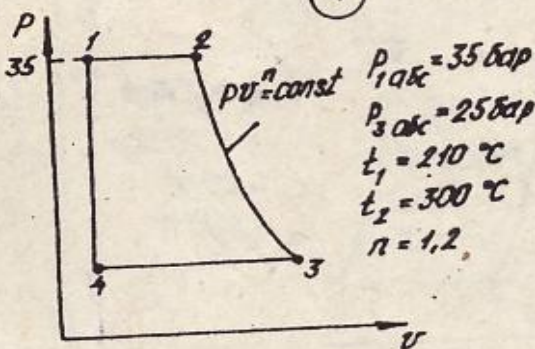
②



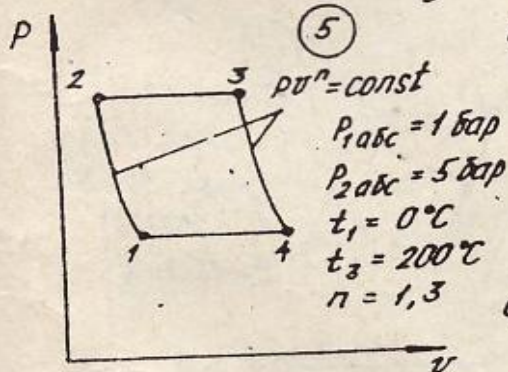
③



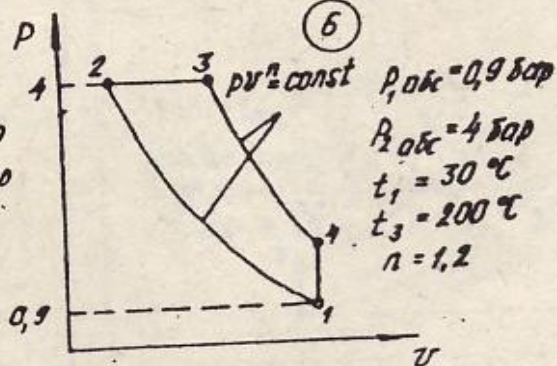
④



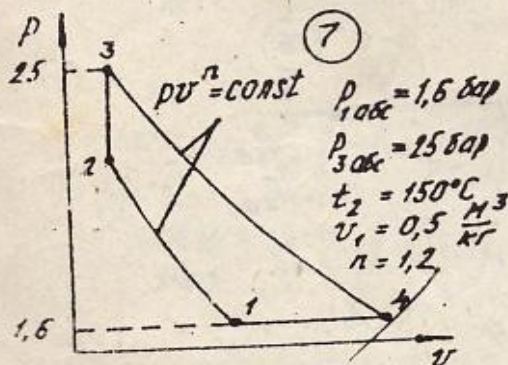
⑤



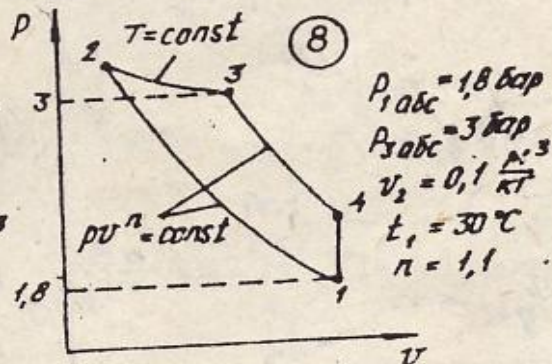
⑥



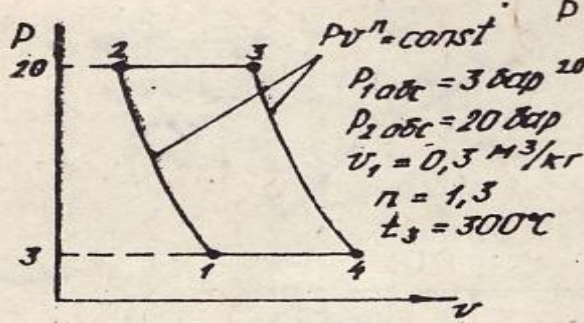
⑦



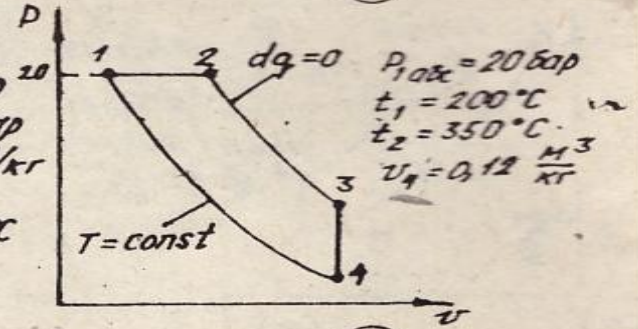
⑧



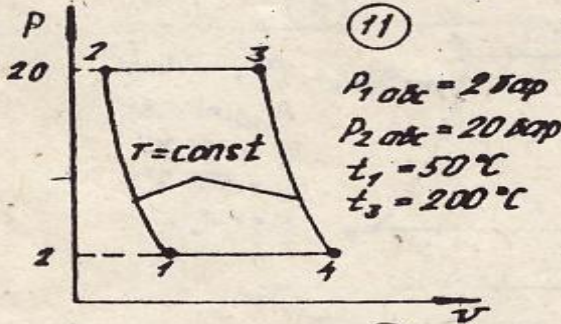
(9)



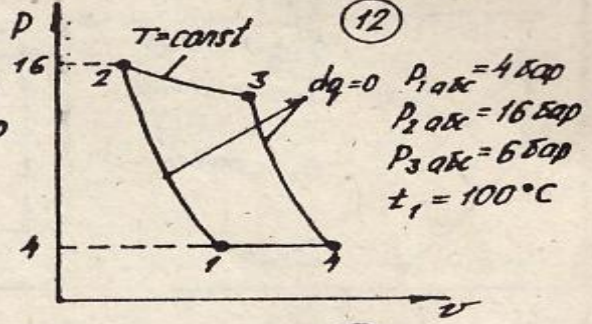
(10)



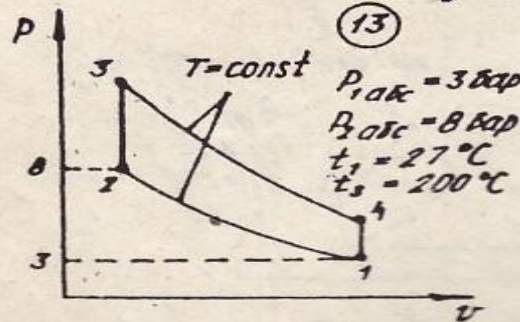
(11)



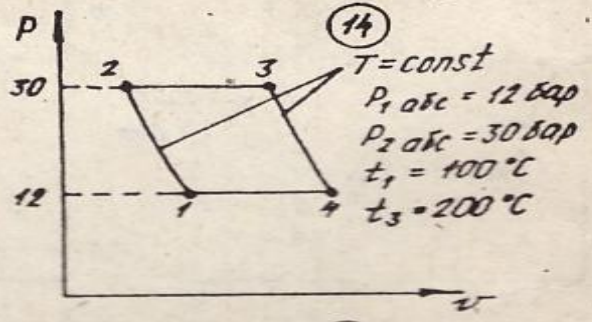
(12)



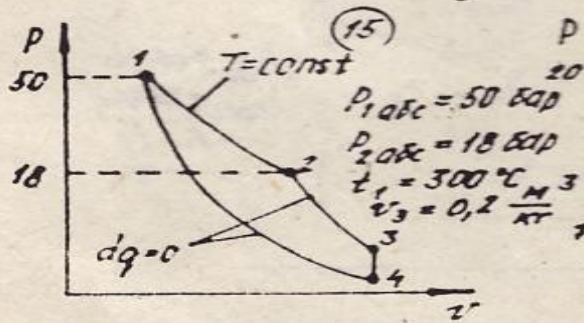
(13)



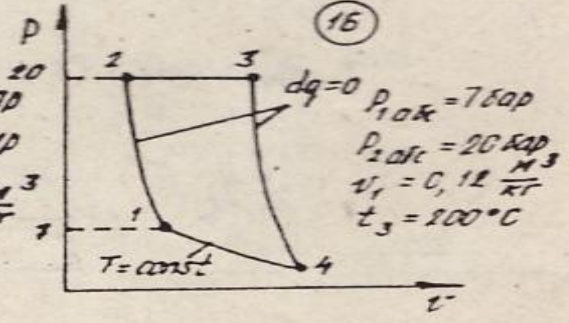
(14)



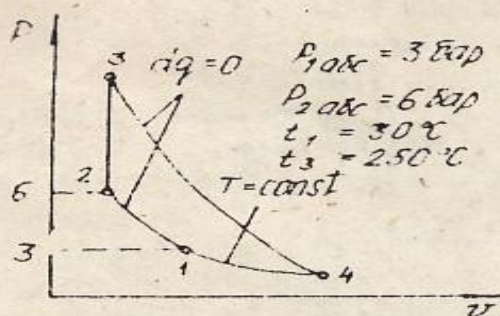
(15)



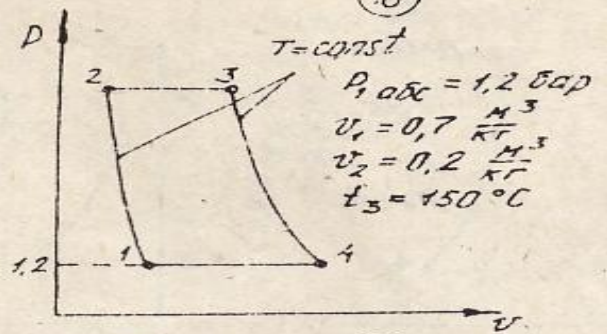
(16)



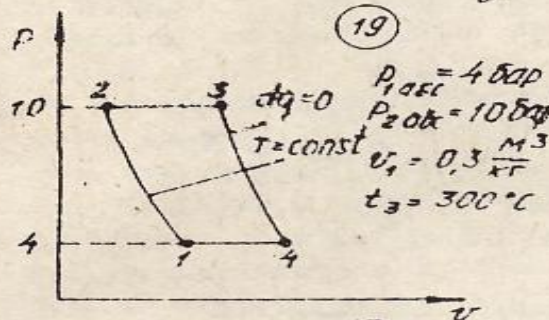
(17)



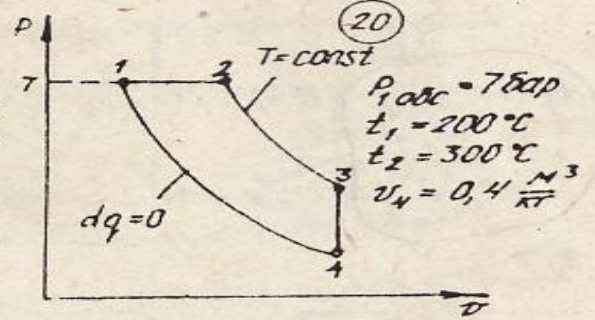
(18)



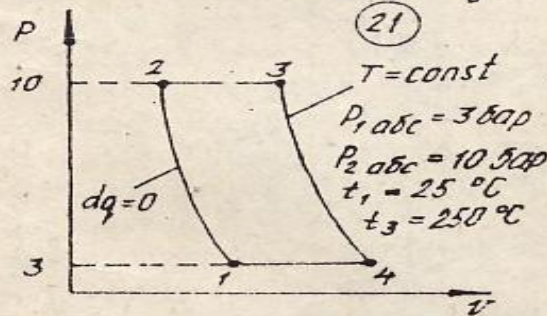
(19)



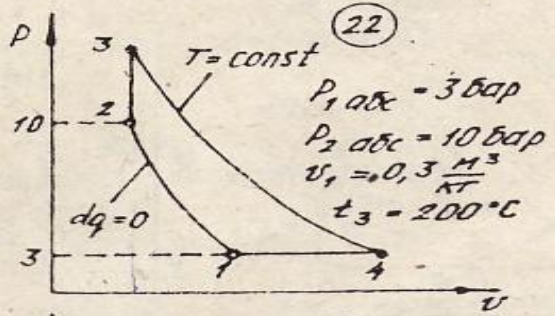
(20)



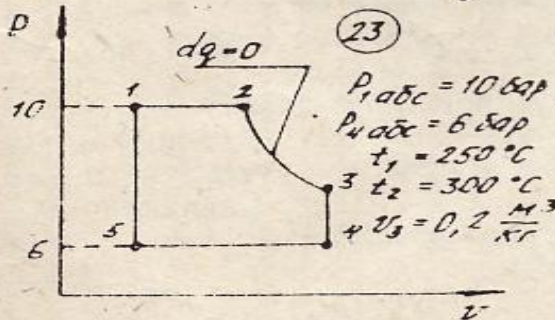
(21)



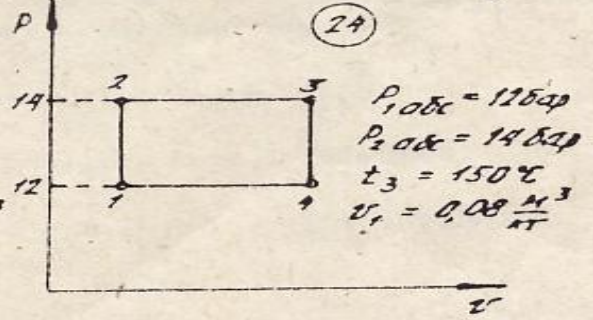
(22)

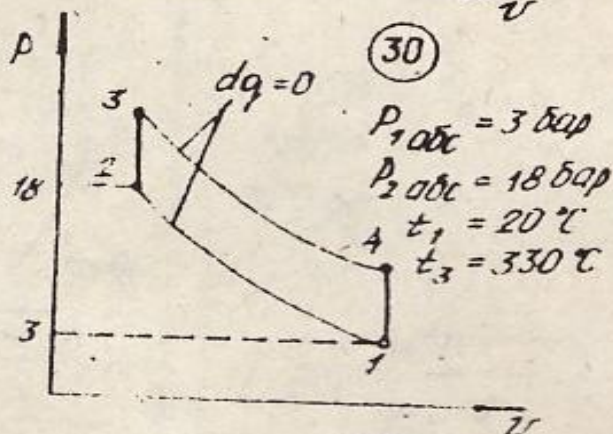
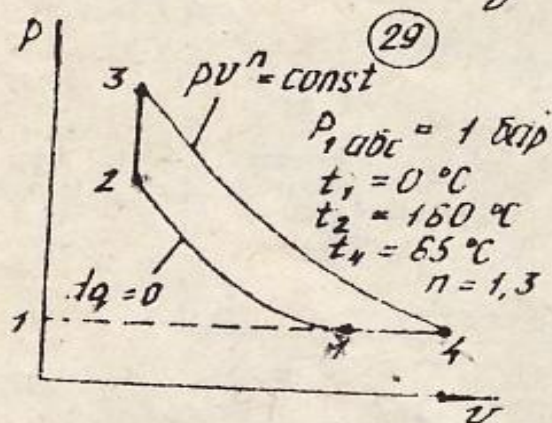
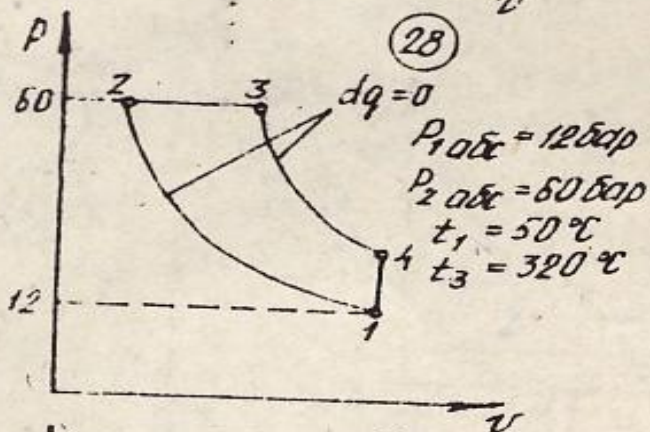
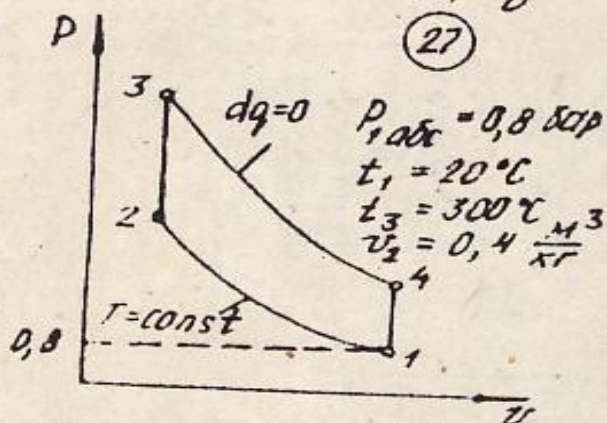
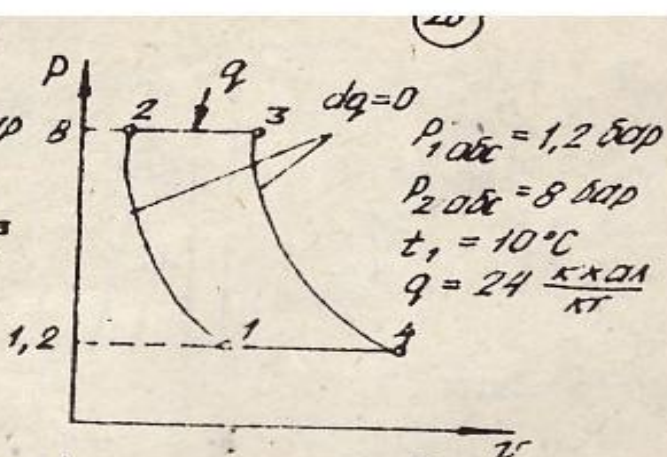
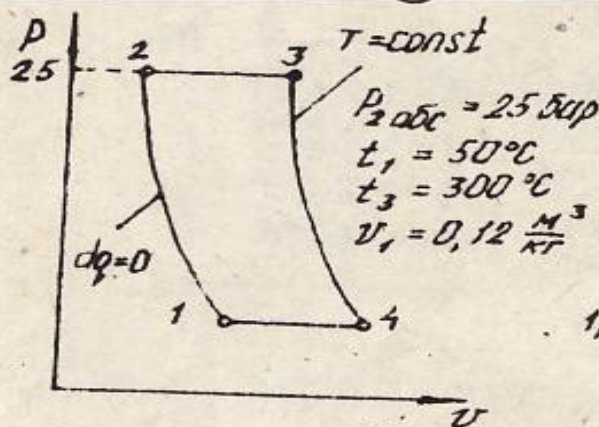


(23)



(24)





Порядок выполнения работы

1. Расчет начинается с нахождения параметров первой точки, для которой известны 2 параметра, третий находится по уравнению Клайперона $P V = R_{cm} T$
2. Затем рассчитываются недостающие параметры для точек 2,3,4,5. Для этого используйте соотношения между основными параметрами для каждого процесса (таблица 5)

Таблица 5 Расчетные формулы для процессов

Наименование процесса	Условия протекания процесса	Соотношения между параметрами	Внешняя работа	Изменение внутренней энергии	Количество теплоты	Изменение энтропии
Изотермический	$\nu = \text{const}$	$\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1}$	$l_v = 0$	$\Delta u_v = c_{vm}(T_2 - T_1)$	$q_v = \Delta u = c_{vm}(T_2 - T_1)$	$\Delta s_v = c_{vm} \ln \frac{T_2}{T_1}$
Изобарный	$P = \text{const}$	$\frac{\nu_2}{\nu_1} = \frac{T_2}{T_1}$	$l_p = P(\nu_2 - \nu_1) = R(T_2 - T_1)$	$\Delta u_p = c_{vm}(T_2 - T_1)$	$q_p = \Delta u + l$	$\Delta s_p = c_{pm} \ln \frac{T_2}{T_1}$
Изотермический	$T = \text{const}$	$\frac{\nu_2}{\nu_1} = \frac{P_1}{P_2}$	$l_T = P \nu_1 \ln \frac{\nu_2}{\nu_1} = R T \ln \frac{P_1}{P_2}$	$\Delta u_T = 0$	$q_T = \Delta u$	$\Delta s_T = R \ln \frac{\nu_2}{\nu_1} = R \ln \frac{P_1}{P_2}$
Адиабатный	$P \nu^k = \text{const}$ ($dq = 0$)	$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{\nu_2}{\nu_1}\right)^k$ $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{\nu_1}{\nu_2}\right)^{k-1}$ $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$	$l = \frac{1}{k-1} P \nu_1 \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \right]$ $l = \frac{1}{k-1} R T_1 \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \right]$	$\Delta u_s = c_{vm}(T_2 - T_1)$	$q_s = 0$	$\Delta s = 0$
Поли- троп-	$P \nu^n = \text{const}$	Те же формулы, что и для адиабатного процесса, только вместо показателя адиабаты k - показатель политропы n .				

3. Находится массовая изобарная средняя теплоемкость каждой точки, если в таблице нет значения t_1 или t_2 , то нужно делать интрополяцию, т.е. нахождение промежуточных значений величины таблицы 1 по некоторым известным ее значениям.

Например: Найдем теплоемкость кислорода при температуре 170°C . Так как значения температуры 170°C в таблице нет, то выпишем ближайшие значения.

$$C_{pm}|_0^{100} = 0,9232 \text{ кДж/кг К}$$

$$C_{pm}|_0^{200} = 0,9353 \text{ кДж/кг К}$$

Теперь интрополируем между этими значениями

$$C_{pm}|_0^{170} = ((C_{pm}|_0^{200} - C_{pm}|_0^{100})/100)*70 + C_{pm}|_0^{100}$$

$$C_{pm}|_0^{170} = ((0,9353 - 0,9232)/100)*70 + 0,9232 = 0,9317 \text{ кДж/кг К}$$

4. По уравнению Майера производится расчет массовой средней изохорной теплоемкости $C_{vm}|_t^t$
- $$C_{pm}|_t^t - C_{vm}|_t^t = R_{cm}, \text{ где } R_{cm} - \text{универсальная газовая постоянная всей смеси}$$
5. Так как внутренняя энергия и энтальпия являются функциями состояния, то их значения в любом термодинамическом процессе рассчитываются по формулам:
- $$\Delta I = C_{vm}|_t^t (T_2 - T_1), \text{ кДж/кг}$$
- $$\Delta h = C_{pm}|_t^t (T_2 - T_1), \text{ кДж/кг}$$
6. Изменение энтропии в зависимости от вида процесса рассчитывается по формулам таблицы 5.
7. Работа изменения объема газовой смеси определяется для каждого процесса по формулам таблицы 5.
8. Количество подведенной или отведенной теплоты определяется по формулам таблицы 5.
9. Если задание выполнено верно, то в итоге вы должны получить:
- а) Сумма изменения внутренней энергии в цикле должна равняться нулю $\Delta I = 0$
 - б) Сумма изменения энтропии в цикле $\Delta S = 0$
 - в) Количество теплоты в процессе должно быть равно сумме изменения внутренней энергии и работы
 - г) Полезная теплота цикла равна алгебраической сумме подведенной и отведенной теплоты, а работа цикла равна алгебраической сумме всех процессов. Так как во всех вариантах заданы прямые циклы, то полезная теплота и работа цикла должны иметь положительный знак.

Контрольные вопросы по вариантам

1. Основные законы идеальных газов
2. Теплоемкости
3. I закон термодинамики
4. II закон термодинамики
5. Внутренняя энергия и внешняя работа: понятие, графическое изображение, основные соотношения
6. TS-диаграмма. Третий закон термодинамики
7. Термодинамические процессы: понятие, графическое изображение, основные соотношения
8. Конструкция молотковых мельниц, область их применения, достоинства и недостатки
9. Воздухоподогреватели: типы конструктивного выполнения, достоинства и недостатки
10. Наружные загрязнения поверхностей нагрева, способы очистки
11. Процесс парообразования в PV- диаграмме
12. Цикл со смешанным подводом теплоты
13. Цикл с подводом теплоты при постоянном давлении
14. Термодинамический процесс
15. Круговые процессы
16. Газотурбинные установки
17. Водяной пар и его свойства
18. Основные процессы водяного пара: графическое изображение в PV и TS- диаграммах
19. Истечение и дросселирование газов
20. Цикл Карно для водяного пара
21. Цикл с промежуточным перегревом пара
22. Регенеративный цикл паротурбиной установки
23. Теплообмен
24. Конвективный теплообмен
25. Теплообменные аппараты
26. Теплопроводность в плоской стенке
27. Теплопередача через плоскую стенку теплоотдача при кипении жидкости
28. Теплоотдача при поперечном обтекании трубы и пучка труб
29. Теплообмен при конденсации пара
30. Основы теплофикации

Список использованной литературы

1.Н.В.Кубасова «Теоретические основы теплотехники», Москва, 2002г стр 130

1. Ю.М.Липов «Котельные установки», Москва,1988г стр205

2.Соколов Б.А. Устройство и эксплуатация паровых и водогрейных котлов малой и средней мощности [Текст]: учеб. Пособие / Б.А.Соколов – М.: Издательский центр «Академия». – 2008. – 64 с. 23.5 см. – 4 000 экз. – ISBN 978-5-7695-4102-5

3.Соколов Б.А. Паровые и водогрейные котлы малой и средней мощности [Текст]: учеб. пособие для студ. Высш. учеб. заведений / Б.А.Соколов. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 128 с. 21 см. – 2 000 экз. – ISBN 978-5-7695-4745-4

4.Александров, А.А., Григорьев Б.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара [Текст]: Справочник. Рек. Гос. Службой стандартных справочных данных. ГСССД Р-776-98. -2-е изд., стереот. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 168 с.; ил.; 26 см. – 5000 экз. – ISBN 5-903072-43-7.