

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Строительный институт
Кафедра Теплогазоснабжения и вентиляции

Решения задач размещены на сайте zadachi24.ru

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению контрольных работ по дисциплине «Термодинамика и
теплопередача» для студентов всех форм обучения по направлению
21.03.01 «Нефтегазовое дело» профилей

Тюмень, ТИУ, 2018 г.

Утверждено редакционно-издательским советом
Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
Тюменского индустриального университета

Составители: Илюхин Константин Николаевич
Чекардовский Сергей Михайлович

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тюменский индустриальный университет» 2018 г.

ВВЕДЕНИЕ

Цели и задачи освоения дисциплины:

Цель дисциплины:

Ознакомить студента с фундаментальными законами термодинамики (первое и второе начало, теории циклов), с основными формами распространения теплоты в пространстве, с процессами и оборудованием, используемыми при разработке и эксплуатации сложных теплотехнических систем в нефтегазовой отрасли, их ремонте и модернизации.

Предоставить студенту достаточные знания законов, понятий, характеристик теплообмена, дать возможность овладеть методиками аналитического, численного, инженерного расчета и экспериментальных исследований по дисциплине, дать представление о современных контрольно-измерительных приборах.

Также целью курса является изучение основных закономерностей процессов взаимопревращений теплоты и работы, свойств идеальных и реальных рабочих тел и теплоносителей, циклов теплосиловых установок и холодильных машин. Это послужит базой для неформального усвоения материала профилирующих дисциплин специальности: теплогенерирующих установок, отопления, вентиляции, теплоснабжения и др.

Задачи дисциплины:

- научить навыкам практического применения знаний гидравлических и теплотехнических законов, методик расчета, принципов работы гидроприводов, двигателей внутреннего сгорания и другого оборудования, применяемого в нефтегазовом хозяйстве;
- сформировать прочные знания свойств рабочих тел и законов их изменения в различных термодинамических процессах;
- обучить методам анализа эффективности циклов ТСУ.
- объяснить процессы преобразования и рационального использования энергии.

Место дисциплины в структуре ПрОП:

Дисциплина «Термодинамика и теплопередача» (в дальнейшем «ТиТ») относится к профессиональному циклу дисциплин базовой части (Б.3).

Для полного усвоения данной дисциплины студенты должны знать следующие разделы ФГОС: ЕН.Б.2.1/1 – математика, ЕН.Б.2.1/2 – физика, ЕН.Б.2.1/3 – неорганическая химия, ЕН.Б.2.1/6 – физическая химия, ПЦ.Б.3.1/5.1 – теоретическая механика, Б.3.В.01 - Основы гидравлики, Б.2.1.05. - Информатика.

Требования к результатам освоения дисциплины:

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Индекс компетенции	Содержание компетенции или ее части	В результате изучения дисциплины обучающиеся должны		
		знать	уметь	владеть
ОК-5	Способен обобщать, анализировать, воспринимать информацию, ставить цели и выбирать пути ее достижения	основы делового этикета.	воспринимать, обобщать и анализировать информацию.	способностью к постановке целей и выбору путей их достижения.
ПК-1	Способен самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии	основы функционирования глобальных сетей.	поиск информации в сетях Интернет.	навыками использования информации, полученной в сети Интернет.
ПК-2	Способен использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	основные положения, методы и законы естественнонаучных дисциплин (математики, физики, химии и других смежных дисциплин), используемых в нефтегазовом деле.	применять знания естественнонаучных дисциплин для решения профессиональных задач.	методами и средствами естественнонаучных дисциплин для оценки свойств и рабочих процессов в бурении.
ПК-4	Способен владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, работать с компьютером как средством управления информацией	современные информационные технологии.	работать с современными средствами оргтехники.	навыками использования компьютера как средства управления информацией.
ПК-6	Способен применять процессный подход в практической деятельности, сочетать теорию и практику	основные производственные процессы, представляющие единую цепочку нефтегазовых технологий.	проводить практические работы, используя методы сопромата, законы гидравлики, механики,	навыками практических работ.

			термодинамик и.	
ПК-10	Применять в практической деятельности принципы рационального использования природных ресурсов и защиты окружающей среды	требования к конструкциям скважин, Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности, а также требования по охране недр и ОС	использовать все требования по охране недр и ОС при проектировании и всех этапов строительства скважин	организационными и правовыми средствами охраны ОС
ПК-18	Планировать и проводить необходимые эксперименты, обрабатывать, в том числе с использованием прикладных программных продуктов, интегрировать результаты и делать выводы	методику проведения экспериментальных работ, исследований и проектирования.	пользоваться средствами обработки информации.	методами и средствами планирования и организации исследований и разработок, проведения экспериментов и наблюдений.
ПК-19	Уметь использовать физико-математический аппарат для решения расчетно-аналитических задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности.	основы высшей математики и физики для решения расчетно-аналитических задач	применять математические и физические методы для решения типовых профессиональных задач	навыками ориентирования в справочной физико-математической литературе, приобретения новых знаний используя современные информационные технологии.
ПК-20	Уметь выбирать и применять соответствующие методы моделирования физических, химических и технологических процессов	технические требования, предъявляемые к сырью, реагентам и материалам, готовой продукции в нефтегазовой промышленности	использовать физические и химические законы при анализе и решении проблем профессиональной деятельности	методами проведения физических измерений, химических основных операций, методами качественного и количественного синтеза многокомпонентных систем

1 КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №1

«Расчет термодинамического цикла газотурбинной установки»

1.1 Теоретическая часть

Различают два вида идеализированных цикла ГТУ. Цикл с изобарным подводом тепла - цикл Брайтона (рис. 1.4а) и с изохорным подводом тепла - цикл Гемфри (рис. 1.4б).

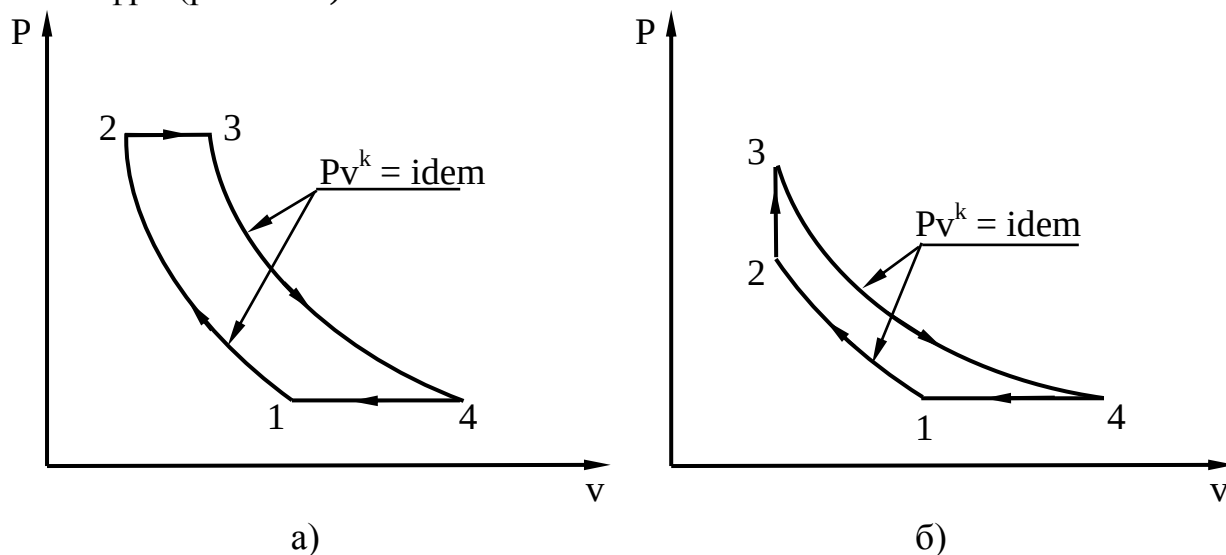


Рисунок 1.4 Термодинамические циклы ГТУ:
а) Брайтона, б) Гемфри.

Основными характеристиками термодинамических циклов ГТУ являются:

λ - отношение давлений в процессе подвода тепла при $v = \text{idem}$, $\lambda = P_3/P_2$;

ρ - степень предварительного расширения в процессе подвода тепла при $P = \text{idem}$, $\rho = v_3/v_2$;

π - отношение давлений в процессе сжатия в компрессоре $\pi = P_2/P_1$.
КПД цикла Гемфри:

$$\eta_t^\Gamma = 1 - \frac{1}{\pi^{\frac{k-1}{k}}} \cdot \frac{k \cdot (\lambda^{\frac{1}{k}} - 1)}{\lambda - 1} \quad (1.29)$$

КПД цикла Брайтона:

$$\eta_t^B = 1 - \frac{1}{\pi^{\frac{k-1}{k}}} \quad (1.30)$$

Сопоставление значений термических КПД циклов газотурбинных установок при одинаковых исходных параметрах и степени повышения давления показывает, что:

$$\eta_t^\Gamma > \eta_t^B \quad (1.31)$$

Следует отметить, что циклы поршневых ДВС характеризуются изохорным отводом, а циклы ГТУ - изобарным отводом тепла.

В реальных ГТУ и ДВС процессы сжатия и расширения не являются адиабатными. С достаточной для технических расчетов точностью их можно считать политропными с постоянным показателем политропы.

1.2 Варианты заданий к контрольной работе №1

Варианты заданий и исходные данные для расчета к контрольной работе №1 приведены в таблицах 1.1-1.4.

Таблица 1.1

№ Варианта	π	ρ	№ состава смеси*	Температура T_1 , К	Давление P_1 , МПа	n_1	G кг/с
1	5	1,85	1	350	0,098	1,41	45
2	5,5	1,8	2	345	0,1	1,4	46
3	6	1,75	3	340	0,101	1,39	47
4	6,5	1,7	4	335	0,11	1,38	48
5	7	1,65	5	330	0,111	1,37	49
6	5	1,65	6	325	0,102	1,41	50
7	5,5	1,7	7	320	0,12	1,4	51
8	6	1,75	8	315	0,121	1,39	52
9	5,2	1,82	9	330	0,098	1,44	45
10	5,3	1,84	10	335	0,1	1,42	46
11	5,8	1,75	11	340	0,101	1,38	47
12	5,9	1,79	12	345	0,11	1,39	48
13	6,7	1,68	13	350	0,111	1,40	49
14	5,4	1,67	14	325	0,102	1,43	50
15	5,7	1,75	15	320	0,12	1,4	51
16	6,1	1,73	16	315	0,121	1,36	52
17	5,2	1,82	17	330	0,099	1,41	45
18	5,3	1,84	18	335	0,101	1,4	46
19	5,8	1,75	19	340	0,102	1,39	47
20	5,9	1,79	20	345	0,108	1,38	48
21	6,7	1,68	21	350	0,11	1,37	49
22	5,4	1,67	22	325	0,12	1,41	50
23	5,7	1,75	23	320	0,125	1,4	51
24	6,1	1,73	24	315	0,127	1,39	52

Таблица 1.2

Состав рабочей смеси в массовых долях

Газ № смеси	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂	Воздух
1	0,25	0,35	0,25	0,15	-	-
2	0,25	0,50	0,25		-	-
3	-	0,80	-	0,15	0,05	-
4	0,60	0,20	0,20	-	-	-
5	0,35	0,15	-	-	-	0,50
6	0,50	0,20	-	0,30	-	-
7	-	0,60	-	0,20	-	0,20
8	-	0,50	0,20	0,20	0,10	-
9	-	0,30	-	0,30	-	0,40
10	-	0,20	0,70	-	-	0,10
11	0,30	-	0,25	-	0,05	0,40
12	-	0,20	0,30	0,40	0,10	-
13	0,40	0,20	-	0,30	0,10	-
14	-	0,25	-	0,25	-	0,50
15	0,30	0,30	0,30	0,10	-	-
16	-	0,40	0,40	0,10	-	0,10
17	0,60	-	0,20	0,10	0,10	-
18	0,05	0,35	0,20	-	-	0,40
19	0,30	0,20	-	0,40	0,10	-
20	-	0,20	0,30	0,30	-	0,20
21	0,35	0,35	-	-	-	0,30
22	0,10	0,10	0,40	-	-	0,40
23	0,35	0,20	-	0,40	0,05	-
24	0,25	0,25	0,25	-	-	0,25

Таблица 1.3

Характеристики некоторых газов

Газ	CO ₂	O ₂	H ₂	воздух	N ₂	CO
R, Дж/кгК	188,9	259,8	4157	287	296,8	296,8
μ, кг/кмоль	44,01	32	2	28,96	28,016	28,01
ρ, кг/м ³	1,977	1,429	0,0898	1,293	1,251	1,250

Таблица 1.4

**Средняя массовая теплоемкость при постоянном давлении C_{pm}
в диапазоне температур от 0 °С до t °С, кДж/кгК**

t	O₂	N₂	CO	CO₂	H₂O	воздух	H₂
0	0.915	1.039	1.040	0.815	1.860	1.003	14.195
100	0.923	1.040	1.042	0.866	1.873	1.006	14.353
200	0.935	1.043	1.046	0.910	1.894	1.011	14.421
300	0.950	1.049	1.054	0.949	1.919	1.019	14.446
400	0.965	1.057	1.063	0.983	1.948	1.028	14.477
500	0.979	1.066	1.075	1.013	1.978	1.039	14.509
600	0.993	1.076	1.086	1.040	2.009	1.049	14.549
700	1.005	1.087	1.098	1.064	2.042	1.060	14.587
800	1.016	1.097	1.109	1.085	2.076	1.071	14.641
900	1.026	1.108	1.120	1.105	2.110	1.081	14.706
1000	1.035	1.118	1.130	1.122	2.144	1.091	14.776
1100	1.043	1.127	1.140	1.138	2.177	1.100	14.853
1200	1.051	1.136	1.149	1.153	2.211	1.108	14.934
1300	1.058	1.145	1.158	1.166	2.243	1.116	15.023
1400	1.065	1.153	1.166	1.178	2.275	1.124	15.113
1500	1.071	1.160	1.173	1.190	2.305	1.131	15.202
1600	1.077	1.167	1.180	1.200	2.335	1.133	15.294
1700	1.083	1.174	1.186	1.209	2.363	1.144	15.383
1800	1.089	1.180	1.192	1.218	2.391	1.150	15.472
1900	1.094	1.186	1.198	1.226	2.417	1.156	15.561
2000	1.099	1.191	1.203	1.233	2.442	1.161	15.649
2100	1.104	1.197	1.208	1.241	2.467	1.166	15.736
2200	1.109	1.202	1.213	1.247	2.490	1.171	15.819
2300	1.114	1.206	1.218	1.253	2.512	1.176	15.902
2400	1.118	1.210	1.222	1.259	2.334	1.180	15.983
2500	1.123	1.214	1.26	1.264	2.555	1.184	16.064
2600	1.127	1.220	1.233	1.272	2.575	1.188	16.141
2700	1.132	1.225	1.238	1.277	2.594	1.192	16.215
2800	1.137	1.230	1.243	1.283	2.616	1.197	16.291
2900	1.142	1.235	1.248	1.288	2.630	1.201	16.360
3000	1.147	1.240	1.253	1.294	2.647	1.206	16.441

1.2. Пример расчета термодинамического цикла газотурбинной установки

Рассчитать термодинамический цикл газотурбинной установки (рис. 1.3), если рабочим телом является смесь идеальных газов следующего состава:

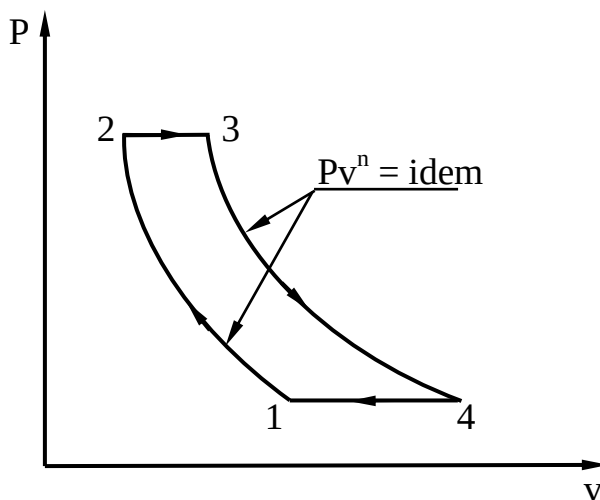


Рисунок 1.3 Термодинамический цикл ГТУ с изобарным подводом тепла.

Состав рабочей смеси (табл.1.2): кислород O_2 - $m_{O_2} = 0,16$; азот N_2 - $m_{N_2} = 0,74$; углекислый газ CO_2 - $m_{CO_2} = 0,07$; водяные пары H_2O - $m_{H_2O} = 0,03$.

Температура и давление рабочего тела на входе в осевой компрессор равны соответственно $t_1=15^\circ C$ и $P_1=0,098$ МПа. Кроме того, заданы показатели политропы в процессах сжатия в осевом компрессоре $n_1=1,35$, а также степень повышения давления в осевом компрессоре $\pi = P_2/P_1 = 5$, степень предварительного расширения в камере сгорания $\rho = v_3/v_2 = 1,85$ и расход рабочего тела $G=50$ кг/с. (табл. 1.1)

Определить:

1. Значение функций состояния в характерных точках цикла: P, v, t, u, h, s .
2. Изменения функций состояния: $\Delta u, \Delta h, \Delta s$; термодинамическую l и потенциальную ω работы и теплообмен q во всех процессах цикла.
3. Работу цикла $l_{ц}$ его термический коэффициент полезного действия η_t и КПД цикла Карно η_t^k осуществляемого в том же интервале температур.
4. Теоретическую мощность ГТУ при заданном расходе рабочего тела G .

Изобразить цикл в координатах $P-v$ и $T-s$.

Начертить схему ГТУ.

Как изменится КПД цикла η_t и его термодинамическое совершенство, если в осевом компрессоре будет происходить изотермический процесс сжатия.

Так как расчет термодинамических циклов ГТУ и поршневых ДВС практически одинаков, то предлагаемый пример расчета изложен без отдельных пояснений, которые можно найти в предыдущем расчете.

1. Определяем характеристики рабочего тела.

Молекулярная масса газовой смеси (молекулярная масса компонентов смеси табл.1.3)

$$\mu = \frac{1}{\sum \frac{m_i}{\mu}} = \frac{1}{\left(\frac{0,16}{32} + \frac{0,74}{28} + \frac{0,07}{44} + \frac{0,03}{18} \right)} = 28,83 \text{ кг / кмоль}$$

Газовая постоянная смеси:

$$R = \frac{8314}{28,83} = 288,4 \text{ Дж / кг} \cdot \text{К}$$

Средняя удельная изобарная теплоёмкость смеси.

Интерполируем табличные данные (табл. 1.4) по изобарным теплоемкостям идеальных газов и при температуре рабочего тела в начале такта сжатия $t_1=15^\circ\text{C}$ имеем:

$$C_{p(\text{O}_2)} = 0,916 \text{ кДж / кг} \cdot \text{К};$$

$$C_{p(\text{N}_2)} = 1,039 \text{ кДж / кг} \cdot \text{К};$$

$$C_{p(\text{CO}_2)} = 0,823 \text{ кДж / кг} \cdot \text{К};$$

$$C_{p(\text{H}_2\text{O})} = 1,861 \text{ кДж / кг} \cdot \text{К}$$

$$C_{p_{\text{см}}} = \sum m_i C_{p_{i,\text{см}}} = 0,16 \cdot 0,916 + 0,74 \cdot 1,039 + 0,07 \cdot 0,823 + 0,03 \cdot 1,861 = 1,029 \text{ кДж / кг} \cdot \text{К}$$

Средняя удельная изохорная теплоёмкость смеси.

$$C_{v_{\text{см}}} = C_{p_{\text{см}}} - R = 1,029 - 0,288 = 0,771 \text{ кДж / кг} \cdot \text{К}$$

Показатель адиабаты смеси идеальных газов

$$k = \frac{C_{p_{\text{см}}}}{C_{v_{\text{см}}}} = \frac{1,029}{0,771} = 1,389$$

2. Определяем термодинамические параметры в характерных точках цикла (рис.9):

Точка 1.

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{288,4 \cdot 288}{0,098 \cdot 10^6} = 0,847 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Точка 2. Процесс 1-2 политропный

Параметры в точке определим, зная степень сжатия ε и уравнение политропного процесса 1-2.

$$P_2 = P_1 \cdot \pi = 0,098 \cdot 5 = 0,49 \text{ МПа};$$

$$P_1 V_1^{n_1} = P_2 V_2^{n_1}, \text{ тогда } v_2 = v_1 \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{1/n_1} = 0,847 \cdot 0,2^{1/1,35} = 0,257 \text{ м}^3 / \text{кг};$$

$$T_2 = \frac{P_2 V_2}{R} = \frac{0,49 \cdot 10^6 \cdot 0,257}{288,4} = 437 \text{ К}; \quad t_2 = T_2 - 273 = 437 - 273 = 164^\circ \text{С}.$$

Точка 3. Процесс 2-3 изобарный:

$$P_3 = P_2 = 0,49 \text{ МПа}; \quad v_3 = \rho v_2 = 1,85 \cdot 0,257 = 0,476 \text{ м}^3 / \text{кг};$$

$$T_3 = \frac{P_3 V_3}{R} = \frac{0,49 \cdot 10^6 \cdot 0,476}{288,4} = 809 \text{ К};$$

$$t_3 = T_3 - 273 = 809 - 273 = 536^\circ \text{С}.$$

Точка 4. Процесс 3-4 политропный поэтому:

$$P_4 = P_1 = 0,098 \text{ МПа};$$

$$P_3 V_3^{n_2} = P_4 V_4^{n_2};$$

$$v_4 = v_3 \left(\frac{P_3}{P_4} \right)^{1/n_2} = 0,476 \cdot 5^{1/1,35} = 1,568 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

$$T_4 = \frac{P_4 V_4}{R} = \frac{0,098 \cdot 10^6 \cdot 1,568}{288,4} = 533 \text{ К};$$

$$t_4 = T_4 - 273 = 533 - 273 = 260^\circ \text{С}.$$

3. Определяем функции состояния в характерных точках цикла.

Внутренняя энергия

$$u_i = C_{vm} T_i$$

Энтальпия

$$h_i = C_{pm} T_i$$

Энтропия

$$s_i = C_{pm} \cdot \ln \frac{T_i}{T_0} + R \ln \frac{P_0}{P_i}$$

$$\text{где } T_0 = 273 \text{ К}, \quad P_0 = 0,101 \text{ МПа}$$

Полученные результаты заносятся в табл.1.5.

Таблица 1.5

Значения параметров и функций состояния в характерных точках цикла

Номер Точки	P, МПа	v, м /кг	t, °С	T, К	u, кДж/кг	h, кДж/кг	s, кДж/(кг.К)
1	0,098	0,847	15	288	213,3	296,3	0,064
2	0,49	0,257	164	437	323,7	449,7	0,028
3	0,49	0,476	536	809	598,8	832,0	0,661
4	0,098	1,568	260	533	394,5	548,2	0,697

4. Находим изменения функций состояния во всех процессах цикла

$$\Delta Z_{i-j} = Z_j - Z_i$$

где $Z = u, h, s$; Z_i - функция состояния в начальной точке процесса; Z_j - функция состояния в конечной точке процесса.

Полученные результаты заносятся в табл.1.6.

5. Находим термодинамическую l и потенциальную w работы и теплообмен q во всех процессах цикла.

Процесс 1-2 политропное сжатие:

$$l_{1-2} = \frac{P_1 V_1}{n_1 - 1} (1 - \tau_{1-2}) = \frac{0,098 \cdot 10^3 \cdot 0,847}{1,35 - 1} (1 - 1,52) = -122,9 \text{ кДж / кг}$$

$$\tau_{1-2} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{437}{288} = 1,52$$

$$w_{1-2} = n_1 l_{1-2} = 1,35 \cdot (-122,9) = -165,9 \text{ кДж / кг}$$

$$q_{1-2} = \frac{k - n_1}{k - 1} \cdot l_{1-2} = \frac{1,389 - 1,35}{1,389 - 1} \cdot (-122,9) = -12,4 \text{ кДж / кг}$$

Процесс 2-3 изобарный подвод тепла:

$$w_{2-3} = 0$$

$$l_{2-3} = P_2 (v_3 - v_2) = 0,49 \cdot 10^3 \cdot (0,476 - 0,257) = 107,2 \text{ кДж / кг}$$

$$q_{2-3} = \Delta h_{2-3} = 382,3 \text{ кДж / кг}$$

Процесс 3-4 политропное расширение:

$$\tau_{3-4} = \frac{T_4}{T_3} = \frac{533}{809} = 0,66$$

$$l_{3-4} = \frac{P_3 V_3}{n_2 - 1} (1 - \tau_{3-4}) = \frac{0,49 \cdot 10^3 \cdot 0,476}{1,35 - 1} (1 - 0,66) = 227,3 \text{ кДж / кг}$$

$$w_{3-4} = n_2 l_{3-4} = 1,35 \cdot 227,3 = 306,9 \text{ кДж / кг}$$

$$q_{3-4} = \frac{k - n_2}{k - 1} l_{3-4} = \frac{1,389 - 1,35}{1,389 - 1} \cdot 227,3 = 23,0 \text{ кДж / кг}$$

Процесс 4-1 изобарный отвод тепла:

$$l_{4-1} = P_4 (v_1 - v_4) = 0,098 \cdot 10^3 \cdot (0,847 - 1,568) = -70,6 \text{ кДж / кг}$$

$$w_{4-1} = 0$$

$$q_{4-1} = \Delta h_{4-1} = -251,9 \text{ кДж / кг}$$

Таблица 1.6

Изменение функций процесса и состояния в процессах цикла

Процесс	$\Delta u,$ кДж/кг	$\Delta h,$ кДж/кг	$l,$ кДж/кг	$w,$ кДж/кг	$q,$ кДж/кг	$\Delta s,$ кДж/кг · К
1-2	110,4	153,4	-122,9	-165,9	-12,4	-0,035
2-3	275,2	382,3	107,2	0	382,3	0,633
3-4	-204,3	-283,8	227,3	306,69	23,0	0,035
4-1	-181,3	-251,9	-70,6	0	-251,9	-0,633
Σ	0	0	141	141	141	0

Проверка полученных результатов, проведенная по первому началу термодинамики для каждого процесса и цикла, показывает, что максимальная относительная погрешность проведенных расчетов не превышает 1%. Такая точность вполне удовлетворена. Наличие же погрешности в вычислениях связано с проводимыми округлениями при определении функций состояния в характерных точках цикла.

6. Определяем работу цикла $l_{ц}$ его термический КПД η_t и КПД цикла

Карно η_t^k .

$$l_{ц} = \sum l = 141 \text{ кДж / кг}$$

$$q_1 = q_{2-3} + q_{3-4} = 405,3 \text{ кДж / кг}$$

$$\eta_t = \frac{l_{ц}}{q_1} = \frac{141}{405,3} = 0,36 \text{ или } 36\%$$

$$\eta_t^k = 1 - \frac{T_{\min}}{T_{\max}} = 1 - \frac{288}{808} = 0,64 \text{ или } 64\%$$

7. Изобразим цикл ГТУ в координатах P-V и T-S. Для этого определяем координаты промежуточных точек в процессах цикла.

Расчет промежуточных точек для построения цикла в P-V координатах:

$P_x = 0,3 \text{ Мпа} (P_1 < P_x < P_2)$ то по уравнению политропы $P_1 V_1^{n_1} = P_x V_x^{n_2}$.

$$v_x = v_1 \left(\frac{P_1}{P_x} \right)^{\frac{1}{n_1}} = 0,847 \left(\frac{0,098}{0,3} \right)^{\frac{1}{1,35}} = 0,366 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

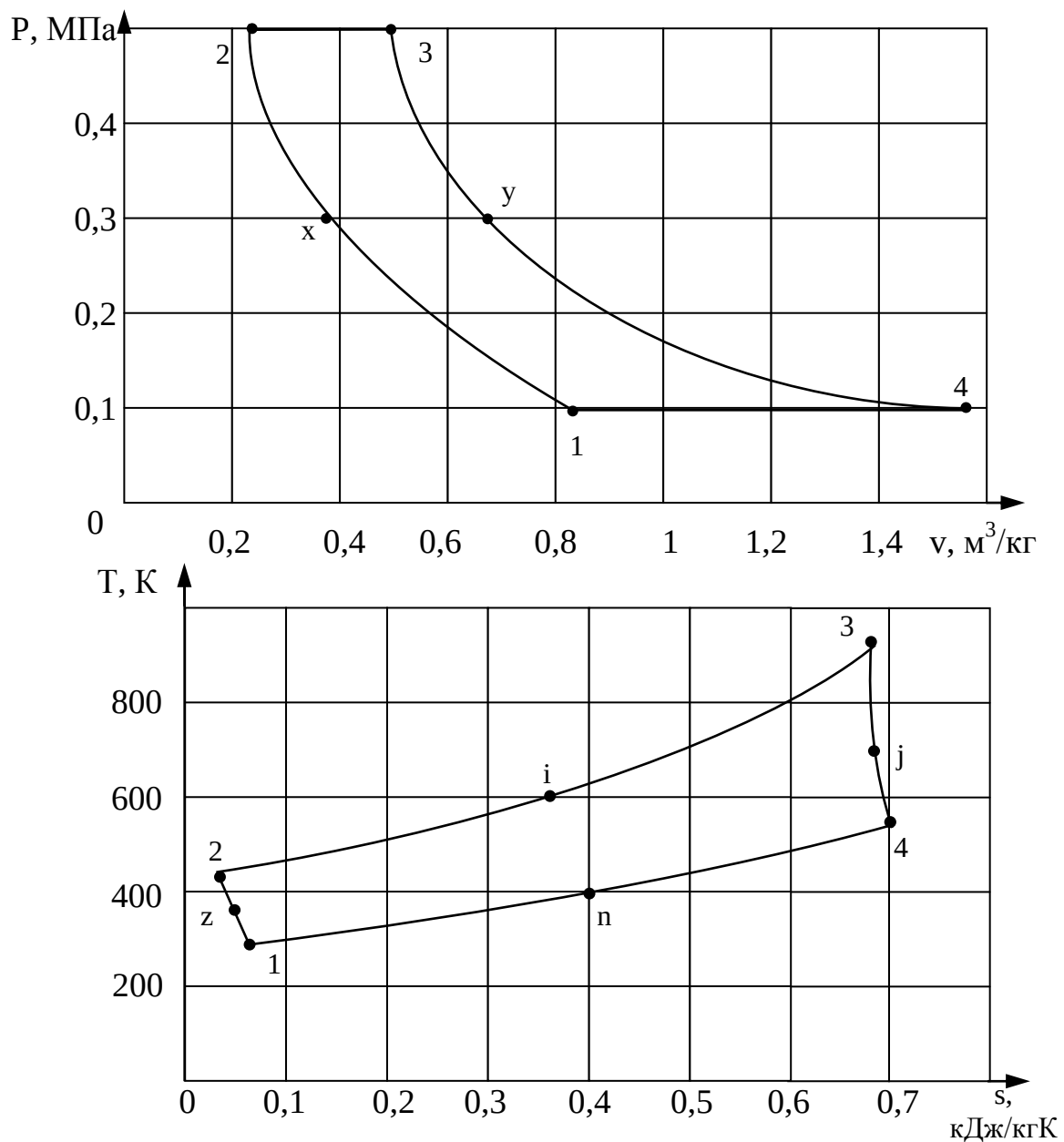


Рисунок 2.4 Термодинамический цикл ГТУ с изобарным подводом тепла
 $P_y = 0,3 \text{ МПа} (P_4 > P_y > P_5)$

$$P_3 V_3^{n_2} = P_y V_y^{n_1}$$

$$v_y = v_3 \left(\frac{P_3}{P_y} \right)^{\frac{1}{n_1}} = 0,476 \left(\frac{0,049}{0,4} \right)^{\frac{1}{1,35}} = 0,682 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

2. Расчет промежуточных точек для построения в T-s координатах.
 Промежуточная точка z в процессе 1-2, принимаем $T_z = 375 \text{ К}$ ($T_1 < T_z < T_2$),
 тогда

$$P_z = P_1 \left(\frac{T_z}{T_1} \right)^{\frac{n_1}{n_1-1}} = 0,098 \left(\frac{375}{288} \right)^{\frac{1,35}{1,35-1}} = 0,271 \text{ МПа}$$

$$s_z = C_p \ln \frac{T_z}{T_0} + R \ln \frac{P_0}{P_z} = 1,029 \ln \frac{275}{273,15} + 0,288 \ln \frac{0,101}{0,271} = 0,044 \text{ кДж / кг} \cdot \text{К}$$

Промежуточная точка I в процессе изохорного подвода тепла 2-3 принимаем $T_i=600\text{К}$ ($T_2 < T_i < T_3$). Так как $P_1 = P_2 = 0,49 \text{ МПа}$ то имеем:

$$s_i = C_p \ln \frac{T_i}{T_0} + R \ln \frac{P_0}{P_i} = 1,029 \ln \frac{600}{273,15} + 0,288 \ln \frac{0,101}{0,49} = 0,359 \text{ кДж / кг} \cdot \text{К}$$

Промежуточная точка j в процессе изобарного подвода тепла 3-4. Принимаем $T_j=700\text{К}$, ($T_3 > T_j > T_4$).

$$\tau_{3-j} = \frac{T_j}{T_3} = \left(\frac{P_j}{P_3} \right)^{\frac{n_1-1}{n_1}}$$

$$P_j = P_3 \left(\frac{T_j}{T_3} \right)^{\frac{n_1}{n_1-1}} = 0,49 \left(\frac{700}{808} \right)^{\frac{1,35}{1,35-1}} = 0,271 \text{ МПа}$$

$$s_j = C_p \ln \frac{T_j}{T_0} + R \ln \frac{P_0}{P_j} = 1,029 \ln \frac{700}{273,15} + 0,288 \ln \frac{0,101}{0,271} = 0,686 \text{ кДж / кг} \cdot \text{К}$$

Промежуточная точка n в процессе изохорного отвода тепла 4-1.

Принимаем $T_n=400\text{К}$, ($T_4 > T_n > T_1$), учитывая что $P_n = P_4 = 0,098 \text{ МПа}$ имеем:

$$S_n = C_p \ln \frac{T_n}{T_0} + R \ln \frac{P_0}{P_n} = 1,029 \ln \frac{400}{273,15} + 0,288 \ln \frac{0,101}{0,098} = 0,4 \text{ кДж / кг} \cdot \text{К}$$

8. Рассчитаем теоретическую мощность ГТУ.

$$N_T = G \cdot l_u = 50 \cdot 141 = 7050 \text{ кВт}$$

9. Схема ГТУ.

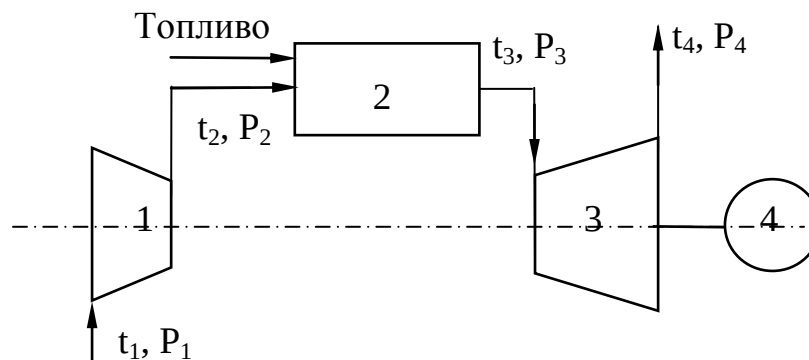


Рисунок 1.1 Схема ГТУ:

1 – осевой компрессор, 2 – камера сгорания,
3 – турбина, 4 – нагнетатель (насос).

2 КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №2

«Расчет термодинамических процессов во влажном воздухе»

2.1 Теоретическая часть

Основные свойства влажного воздуха

Влажным воздухом называется смесь сухого воздуха с водяным паром, а в наиболее общем случае – с водяным паром и очень мелкими каплями воды или кристаллами льда.

Согласно закону Дальтона, каждый газ, входящий в смесь, находится под своим (парциальным) давлением, а сумма парциальных давлений компонентов равна давлению смеси. Поэтому можно записать соотношение

$$P_{в.в} = p_{с.в} + p_n, \quad (2.1)$$

где $P_{в.в}$ – давление влажного воздуха (смеси);

$P_{с.в}$ – парциальное давление сухого воздуха в смеси;

P_n – парциальное давление пара;

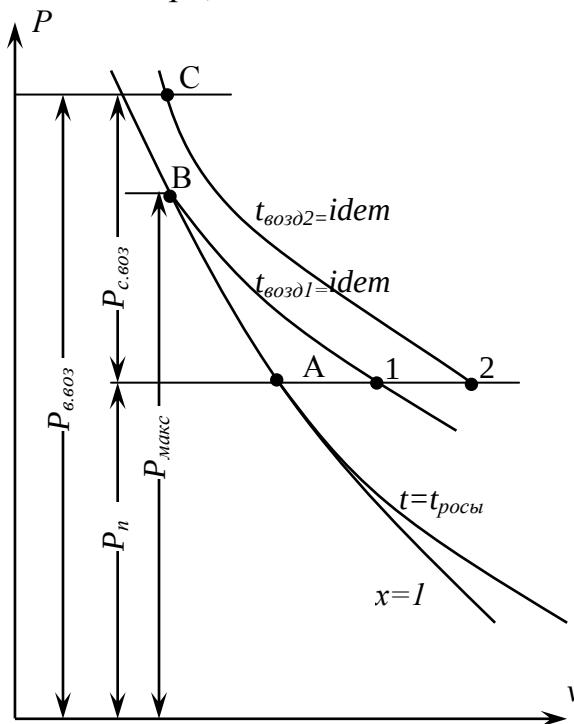


Рисунок 2.1 Состояние пара во влажном воздухе

Если температура влажного воздуха $t_{в.в.}$, а следовательно, и пара во влажном воздухе больше температуры насыщения t_s , соответствующей парциальному давлению пара, то пар в таком воздухе не насыщает пространство и является перегретым. Такое состояние пара соответствует точке 1 на p - v -диаграмме (рисунок 2.1). Если насыщенный влажный

воздух охлаждать при $p = \text{const}$, то может наступить момент начала конденсации, когда $p_n = p_s$ (p_s -давление насыщенного пара). Это состояние пара во влажном воздухе соответствует точке А. При этом будет справедливо соотношение

$$t_{\text{в.в}} = t_n = t_{s, p=p_n}.$$

В этом случае пар во влажном воздухе становится сухим насыщенным. При дальнейшем охлаждении смеси пар начинает конденсироваться, то есть будет наблюдаться образование тумана (выпадение росы).

Температура, равная температуре насыщения при парциальном давлении пара, называется температурой точкой росы, то есть $t_{\text{тр}} = t_{s, p=p_n}$.

Абсолютной влажностью воздуха ρ_n называется количеством килограммов пара в 1 м^3 влажного воздуха. Так как объём пара в смеси равен, объёму всей смеси, абсолютная влажность оказывается равной *плотности пара* при своём парциальном давлении и температуре влажного воздуха

$$\rho_n = \frac{m_n}{V_{\text{воз}}} = \frac{m_n}{V_n}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}. \quad (2.2)$$

Относительная влажностью воздуха ϕ называется отношение абсолютной влажности ρ_n к максимально возможной при температуре влажного воздуха. Иначе - это есть отношение плотности пара во влажном воздухе к плотности пара, насыщающего пространство при неизменной температуре

$$\phi = \frac{\rho_n}{\rho_{\text{макс}}} \cdot 100\%. \quad (2.3)$$

В виду того, что водяной пар рассматривается как идеальный газ, для которого при постоянной температуре плотности прямо пропорциональны давлениям, можно с достаточной степенью точности считать верной формулу

$$\phi = \frac{P_n}{P_{\text{макс}}} \cdot 100\%. \quad (2.4)$$

Состояние пара, соответствующее его максимальной плотности $t = t_{\text{г.г}} = \text{const}$, т.е. плотности сухого насыщенного пара, соответствует точке В на рис. 2.1. Значение этой плотности находится в таблицах свойств водяного пара (приложение Б).

Иногда случается, что температура влажного воздуха оказывается большей, чем температура насыщения при давлении $P_{\text{г.г}}$ (при давлении смеси), например, состояние, зафиксированное точкой 2 на рисунок 2.1. В этом случае пространство оказывается насыщенным только тогда, когда всё оно заполняется одним только паром. Максимально возможное количество пара в данном объёме будет иметь место при полном

отсутствии сухого воздуха. Величину $\rho_{\text{макс}}$ тогда следует искать в таблицах перегретого пара как функцию $P_{\text{в.в}}$ и $t_{\text{в.в}}$ (точка С на рисунок 2.1).

Влагосодержанием d влажного воздуха называется отношение массы (в граммах) воды в виде пара, жидкости или льда во влажном воздухе к массе (в килограммах) сухого воздуха

$$d = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{m_{\text{с.воз}}}, \quad \frac{\Gamma}{\text{кг с.воз}}. \quad (2.5)$$

Эта величина употребляется во всех расчётах, связанных с влажным воздухом.

Если имеется в виду газообразная часть смеси или тот случай, когда жидких частиц воды в смеси нет, связь между парциальным давлением пара и влагосодержанием определяется формулой

$$d = 622 \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{в.в}} - P_{\text{п}}}. \quad (2.6)$$

Зная абсолютную влажность $\rho_{\text{п}}$ и влагосодержанием d , можно определить плотность влажного воздуха $\rho_{\text{в.в}}$ по формуле

$$\rho_{\text{в.в}} = \rho_{\text{п}} \frac{d + 1000}{d}. \quad (2.7)$$

Энтальпия влажного воздуха, которую принято отсчитывать от состояния воды в тройной точке (т.е. практически от $t=0^\circ\text{C}$), для удобства расчётов также относится к 1 кг сухого воздуха. В общем виде выражение для энтальпии смеси, не содержащей твёрдых частиц H_2O (это обстоятельство соответствует условиям описываемого эксперимента), записывается следующим образом:

$$h_{\text{в.в}} = h_{\text{с.в}} + \frac{d_{\text{п}}}{1000} h_{\text{п}} + \frac{d_{\text{ж}}}{1000} h_{\text{ж}}. \quad (2.8)$$

Энтальпии отдельных компонент смеси рассчитываются по приближённым формулам, написанным с учётом ранее приближённого положения об идеальности газообразных составляющих:

энтальпия сухого воздуха

$$h_{\text{с.в}} = c_{\text{п}}^{\text{с.в}} \cdot t = 1,00t, \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг с.воз}};$$

энтальпия пара

$$h_{\text{п}} = r(t_{\text{тр}}) + c_{\text{п}}^{\text{п}} t = 2501 + 1,92t, \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

энтальпия жидкой воды)

$$h_{\text{ж}} = c_{\text{п}}^{\text{ж}} t = 4,19t, \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

В этих формулах все теплоёмкости приняты независимыми от давления и от температуры, а теплота парообразования воды $r(t_{тр})$, отнесена к температуре в тройной точке.

После подстановки значений энтальпий составляющих в основную формулу получается следующее расчётное уравнение для энтальпии

$$h_{в.в} = t + \frac{d_n}{1000}(2501 + 1,92t) + \frac{d_{ж}}{1000}4,19t, \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг с воз}}. \quad (2.9)$$

h-d диаграмма влажного воздуха

Расчёты, связанные с влажным воздухом, достаточно кропотливы. Их значительно упрощает предложенная в 1918 году Л.К. Рамзиным h-d-диаграмма влажного воздуха (рисунок 2.2). Эта диаграмма построена для $P_{с.с.}=745$ мм рт.ст., что соответствует среднему годовому значению барометрического давления в центральных районах России.

По оси ординат диаграммы отложена энтальпия воздуха кДж/кг с. воз.

Ось абсцисс (для лучшего использования площади диаграммы) проведена под углом 135° к оси ординат. На ней отложены значения d , г/кг с. воз. Соответствующие точки спроектированы на горизонтальную (условную) ось d .

На диаграмме имеются линии постоянных d , идущие вертикально, постоянных h (прямые проведённые под углом 135° к оси ординат), постоянных температур влажного воздуха $t_{соз}$ и постоянных относительных влажностей φ . Все эти линии построены на основании формул (3.4), (3.5), (3.6) и (3.9).

Кривая $\varphi = 100\%$ является пограничной. Точки на ней соответствуют состоянию насыщенного воздуха. Область под этой кривой соответствует состояниям смеси влажного пара и сухого воздуха и называется областью "тумана".

Пользование h-d - диаграммой

1) Нахождение относительной влажности φ . Чтобы найти φ , следует найти точку пересечения кривых t_m и $t_{сх}$, которая и определяет относительную влажность. Значения этих температур берутся по показаниям психрометра.

2) Построение процессов нагревания и охлаждения воздуха. Процесс нагревания влажного воздуха (например, в калорифере сушилки) есть процесс $d=\text{const}$, так как в процессе подогрева воздуха влагосодержание не меняется. Если точка А (рисунок 2.2) показывает состояние влажного воздуха перед его подогревом, то следует провести вертикально вверх прямую $d=\text{const}$ до пересечения в точке В с изотермой t_2 (на рисунке $t_2=60^\circ\text{C}$), соответствующей температуре подогретого воздуха. Процесс АВ есть процесс подогрева воздуха. Естественно, что в конечном состоянии его относительная влажность становится меньшей чем начальная, а энтальпия возрастает. Прямые линии процессов охлаждения нужно проводить вертикально вниз от начальной точки.

3) Построение процессов сушки. Если сушка какого-либо материала происходит только за счёт тепла предварительно подогретого воздуха и если отвод тепла из сушки нет, то есть отсутствуют потери в окружающую среду, то уравнения энергии для двух сечений (входного и выходного) канала, по которому течёт сушильный агент (влажный воздух), можно записать в виде:

$$h_1 = h_2 \quad (2.10)$$

Записывая так, пренебрегают потерями теплоты и малым изменением кинетической энергии потока. Энтальпия сушильного агента остаётся постоянной потому, что теплота необходимая для испарения влаги из высушиваемого материала берётся только из потока и снова возвращается в поток вместе с испарившейся влагой. Количество же сухого воздуха (а энтальпия относится к 1 кг сухого воздуха) в потоке сушильного агента остаётся неизменным. Сказанное справедливо, если пренебрегать незначительной величиной "физического тепла" (говоря точно - величиной энтальпии) испаряемой жидкости.

4) Нахождение температуры точки росы. Чтобы найти точку росы, необходимо, например из точки С, характеризующей состояние воздуха, провести вниз линию СЕ $d=\text{const}$ (процесс охлаждения) до пересечения с кривой $\varphi=100\%$. Изотерма, проходящая через эту точку, определит температуру точки росы (см. рисунок 2.2, точка Е).

5) Определение парциального давления пара. Чтобы определить парциальное давление пара во влажном воздухе, состояние которого характеризуется, например, точкой D (рисунок 2.2), нужно спроектировать точку D по вертикали на кривую парциального давления и затем по горизонтали на масштабную линию.

2.2 Выполнение контрольной работы по исследованию процессов во влажном воздухе и варианты задания

Воздух имеет температуру t_1 и относительную влажность φ_1 . Перед тем как быть использованным для вентиляции помещения, воздух нагревается в калорифере, а затем увлажняется путём впрыскивания в него распылённой воды. В результате нагревания и увлажнения достигается температура t_3 и относительная влажность φ_3 . Данные для решения задачи выбрать из таблицы 2.1.

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ №2

Таблица 2.1

Номер варианта	Температура $t_1, ^\circ\text{C}$	Относительная влажность $\varphi_1, \%$	Температура $t_3, ^\circ\text{C}$	Относительная влажность $\varphi_3, \%$
0	4	70	27	60
1	12	65	22	90
2	8	80	24	80
3	10	50	28	55
4	12	50	30	40
5	5	80	25	60
6	14	60	21	90
7	16	40	23	80
8	20	50	26	70
9	18	40	29	50
10	13	70	27	55
11	5	55	27	45
12	9	75	24	70
13	15	35	29	95
14	7	85	30	50
15	19	45	31	45
16	3	60	23	55
17	17	50	28	85
18	11	55	26	40
19	2	80	25	65
20	13	65	22	90
21	-1	60	20	60
22	0	55	27	70
23	10	75	30	80
24	5	60	25	75

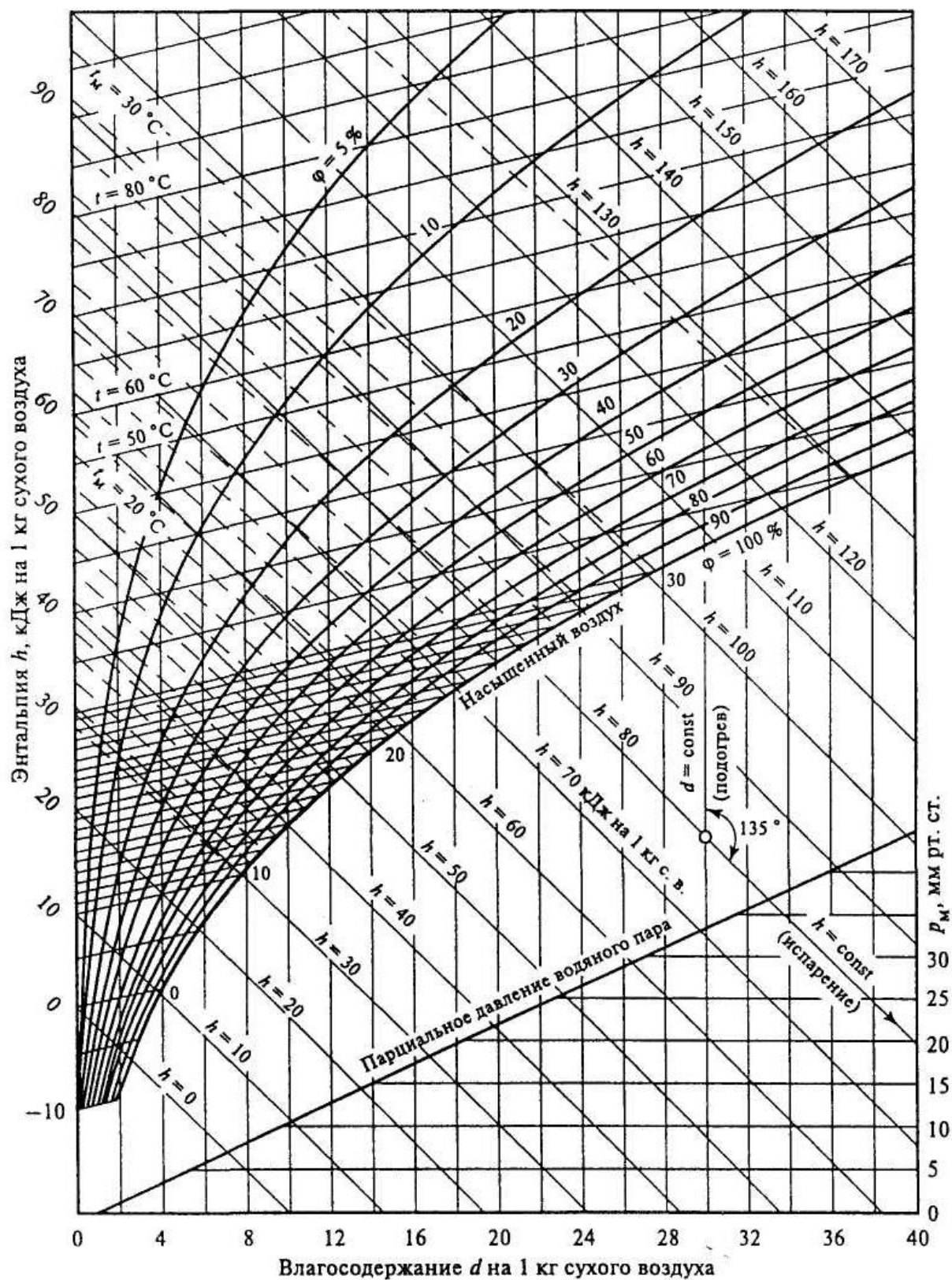


Рисунок 2.3 h - d -диаграмма влажного воздуха при $p = 745$ мм рт. ст. (993,3 гПа)

Требуется:

- определить с помощью h-d- диаграммы влажного воздуха, приведённой на рисунке 2.3, положение точки 2;
- найти параметры влажного воздуха в точках 1,2,3, температуру t , температуру мокрого термометра $t_m(^{\circ}\text{C})$, температуру точки росы $t_{\text{ТР}}(^{\circ}\text{C})$, относительную влажность $\varphi(\%)$ влагосодержание d (г/кг с.в.), энтальпию h (кДж/кг с.в.), парциальное давление водяных паров (кПа).
- количество теплоты $q = h_2 - h_1$ (кДж/кг с.в.), подведённой в калорифере, и количество впрыснутой в воздух влаги $\Delta d = d_3 - d_2$ (г/кг с.в.).

Параметры представить в таблице 2.2 и изобразить процесс 1-2-3 в h-d - диаграмме, рисунок 2.4.

Таблица 2.2

№ точки	$t, ^{\circ}\text{C}$	$t_m, ^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{ТР}}, ^{\circ}\text{C}$	$\varphi\%$	$P, \text{кПа}$	$h, \text{кДж/кг}$	$d, \text{г/(кг с.в.)}$
1							
2							
3							

На рисунке 2.4 по значению температуры и относительной влажности нанесены точки 1 и 3. Для нахождения положения точки 2 необходимо из точки 1 по линии $d=\text{const}$ подняться до пересечения с линией энтальпии, проходящей через точку 3. Точка пересечения этих линий даёт положение точки 2.

На рисунке 2.5 показано определение температуры точки росы и температуры "мокрого" термометра по показаниям точки 1.

Для определения температуры точки росы необходимо из точки 1 провести вертикаль (линию $d=\text{idem}$) до пересечения с линией $\varphi = 100\%$. Изотерма, проходящая через точку пересечения, определит температуру точки росы $t_{\text{ТР}}$.

Для определения температуры "мокрого" по линии $h=\text{idem}$ проходящей через точку 1, спускаемся до пересечения с кривой $\varphi = 100\%$. Изотерма, проходящая через точку пересечения, определит искомую температуру "мокрого" термометра.

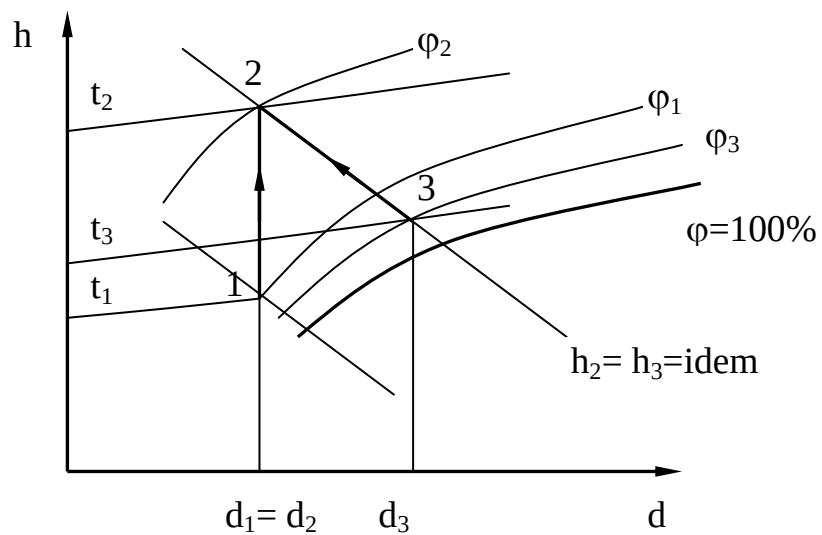


Рисунок 2.4. Определение положения точки 2 на h-d-диаграмме влажного воздуха

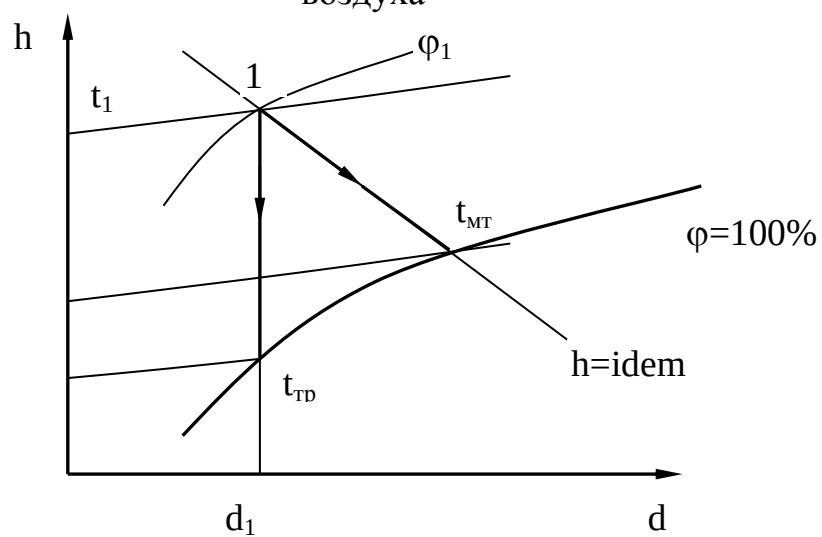


Рисунок 2.5. Определение температуры точки росы и температуры "мокрого" термометра

ЛИТЕРАТУРА

Основная:

1. Теплотехника: учебник для студентов технических специальностей вузов / В. Н. Луканин [и др.] ; ред. В. Н. Луканин. - 6-е изд., стер. - М. : Высшая школа, 2008. - 672 с. : ил.
2. Исследование тепловых процессов на объектах трубопроводного транспорта: учебное пособие для студентов нефтегазового профиля / ТюмГНГУ ; ред. Ю. Д. Земенков. - Тюмень : Вектор Бук, 2008. - 215 с.
3. Эксплуатация объектов хранения и распределения жидких углеводородов: учебное пособие для студентов нефтегазового профиля / Ю. Д. Земенков [и др.]; ред. Ю. Д. Земенков ; ТюмГНГУ. - СПб.: Недра, 2007. - 535 с.: ил.
4. Типовые расчеты процессов в системах транспорта и хранения нефти и газа: учебное пособие для студентов нефтегазового профиля / ТюмГНГУ ; ред. Ю. Д. Земенков. - СПб. : Недра, 2007. - 599 с. : ил.

Дополнительная:

5. Мониторинг гидродинамических и технических характеристик трубопроводных систем: учебное пособие для студентов нефтегазового профиля / ред. Ю. Д. Земенков. - Тюмень : Вектор Бук, 2008. - 445 с. : ил.
6. Эксплуатация насосно-силового оборудования на объектах трубопроводного транспорта: учебное пособие для студентов, бакалавров и магистров, обучающихся по специальности "Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ" направления подготовки дипломированных специалистов "Нефтегазовое дело" / Ю. Д. Земенков [и др.] ; ред. Ю. Д. Земенков ; ТюмГНГУ. - Тюмень : ТюмГНГУ, 2010. - 456 с. : ил., табл.

Методические указания по выполнению контрольных работ по дисциплине
«Термодинамика и теплопередача» для студентов всех форм обучения по
направлению 21.03.01 «Нефтегазовое дело» всех профилей

,

Составители: Илюхин Константин Николаевич
Чекардовский Сергей Михайлович

В авторской редакции

Подписано в печать _____ 2012. Формат 60×90 1/16. Усл.печ.л. _____
Тираж 45 экз. Заказ № _____.

Издательство федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Тюменский индустриальный университет».
625000, Тюмень, ул. Володарского, 38.

Отдел оперативной полиграфии издательства.
625039, Тюмень, ул. Киевская, 52