

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЕГАЗОВЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт транспорта
Кафедра «Транспорт углеводородных ресурсов»

ГАЗОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ

Методические указания для контрольных работ по дисциплине
«Газотурбинные установки» для студентов направления
131000.62 «Нефтегазовое дело»
заочной формы обучения

Тюмень
ТюмГНГУ
2013

Утверждено редакционно-издательским советом
Тюменского государственного нефтегазового университета

Составитель: Акулов К. А., ассистент

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ЗАДАНИЕ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	5
АЛГОРИТМ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТА	7
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	12
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	13
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	14
ЛИТЕРАТУРА	15

ВВЕДЕНИЕ

Цели дисциплины - дать студентам знания, навыки и умения по теплогидродинамическим расчетам и математическому моделированию газотурбинных установок, знание основ проектирования и эксплуатации ГТУ, особенностей газотурбинных установок в сфере их производства и эксплуатации.

Задачами курса является изучение: известных схем и конструкций ГТУ, термодинамических циклов, основ теории турбомашин, камер сгорания и теплообменных аппаратов, систем охлаждения, диагностики установок, методов проектирования и эксплуатации ГТУ

В результате освоения дисциплины студент должен знать: основные темы, схемы и конструкции ГТУ; методы расчета термодинамических циклов, турбомашин, камер сгорания и теплообменных устройств ГТУ; основы автоматизированного проектирования ГТУ; состав и назначение вспомогательных систем ГТУ; методы диагностики ГТУ; основы эксплуатации ГТУ; направления развития ГТУ.

В результате освоения дисциплины студент должен уметь: проводить расчеты и выбирать параметры ГТУ; выполнять расчеты и предпроектные исследования турбин, компрессоров, камер сгорания ГТУ; проводить диагностику ГТУ; выполнять мероприятия по эксплуатации и обслуживанию ГТУ.

В результате освоения дисциплины студент должен демонстрировать способность и готовность: анализировать ситуацию и принимать решения при эксплуатации ГТУ; разрабатывать схемы ГТУ для конкретных целей и условий; проводить диагностику ГТУ.

Дисциплины, усвоение которых необходимо для изучения данной дисциплины: высшая математика, физика, термодинамика и теплопередача, гидромеханика. Данная дисциплина является базой для производственных и преддипломной практик. Предмет связан с такими дисциплинами как «Магистральные газопроводы», «Компрессорные станции».

ЗАДАНИЕ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Выполнить вариантный расчёт газотурбинной установки с промежуточным воздухоохладителем (Рис. 1) и выбрать оптимальную степень сжатия в компрессоре. Использовать ряд значений степени сжатия в компрессоре высокого давления (КВД) $\pi_{КВД}^*$: 4, 6, 8, 10, 12. Для расчёта использовать данные табл. 1 и табл. 2.

Таблица 1

Исходные данные для расчёта, одинаковые для всех вариантов

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Значение
Атмосферная температура	T_a	К	288
Атмосферное давление	P_a	МПа	0,1013
Коэффициент давления входного устройства	$\sigma_{вх}$	-	0,99
Степень сжатия КНД	$\pi_{КНД}^*$	-	по варианту
Политропический КПД КНД	$\eta_{ПКНД}$	-	0,91
Расход воздуха	G_B	кг/с	60
Степень охлаждения воздуха в ВО	θ	-	0,84
Коэффициент давления ВО	$\sigma_{ВО}$	-	0,97
Степень сжатия КВД	$\pi_{КВД}^*$	-	4, 6, 8, 10, 12
Политропический КПД КВД	$\eta_{ПКВД}$	-	0,89
Температура за КС	T_3^*	К	по варианту
Средняя удельная теплоемкость топлива	C_{pm}^T	кДж/(кг·К)	2,847
Стехиометрический коэффициент топлива	L	-	16,7
Температура топлива	T_T^*	К	450
КПД КС	$\eta_{КС}$	-	0,97
Теплотворная способность топлива	Q_T	кДж/кг	49310
Коэффициент давления КС	$\sigma_{КС}$	-	0,98
Механический КПД турбин	$\eta_{Мех}$	-	0,995
Политропический КПД турбин	$\eta_{ПТ}$	-	0,9
Коэффициент давления выходного устройства	$\sigma_{вых}$	-	0,99

Таблица 2

Индивидуальные исходные данные для расчёта по вариантам

№ варианта	$\pi_{кнд}^*$	T_3^*, K	№ варианта	$\pi_{кнд}^*$	T_3^*, K	№ варианта	$\pi_{кнд}^*$	T_3^*, K
1	2	1200	39	3	1300	77	4	1400
2	2	1250	40	3	1350	78	4	1450
3	2	1300	41	3	1400	79	4	1500
4	2	1350	42	3	1450	80	4	1550
5	2	1400	43	3	1500	81	4	1600
6	2	1450	44	3	1550	82	4,25	1200
7	2	1500	45	3	1600	83	4,25	1250
8	2	1550	46	3,25	1200	84	4,25	1300
9	2	1600	47	3,25	1250	85	4,25	1350
10	2,25	1200	48	3,25	1300	86	4,25	1400
11	2,25	1250	49	3,25	1350	87	4,25	1450
12	2,25	1300	50	3,25	1400	88	4,25	1500
13	2,25	1350	51	3,25	1450	89	4,25	1550
14	2,25	1400	52	3,25	1500	90	4,25	1600
15	2,25	1450	53	3,25	1550	91	4,5	1200
16	2,25	1500	54	3,25	1600	92	4,5	1250
17	2,25	1550	55	3,5	1200	93	4,5	1300
18	2,25	1600	56	3,5	1250	94	4,5	1350
19	2,5	1200	57	3,5	1300	95	4,5	1400
20	2,5	1250	58	3,5	1350	96	4,5	1450
21	2,5	1300	59	3,5	1400	97	4,5	1500
22	2,5	1350	60	3,5	1450	98	4,5	1550
23	2,5	1400	61	3,5	1500	99	4,5	1600
24	2,5	1450	62	3,5	1550	100	4,75	1200
25	2,5	1500	63	3,5	1600	101	4,75	1250
26	2,5	1550	64	3,75	1200	102	4,75	1300
27	2,5	1600	65	3,75	1250	103	4,75	1350
28	2,75	1200	66	3,75	1300	104	4,75	1400
29	2,75	1250	67	3,75	1350	105	4,75	1450
30	2,75	1300	68	3,75	1400	106	4,75	1500
31	2,75	1350	69	3,75	1450	107	4,75	1550
32	2,75	1400	70	3,75	1500	108	4,75	1600
33	2,75	1450	71	3,75	1550	109	5	1200
34	2,75	1500	72	3,75	1600	110	5	1250
35	2,75	1550	73	4	1200	111	5	1300
36	2,75	1600	74	4	1250	112	5	1350
37	3	1200	75	4	1300	113	5	1400
38	3	1250	76	4	1350	114	5	1450

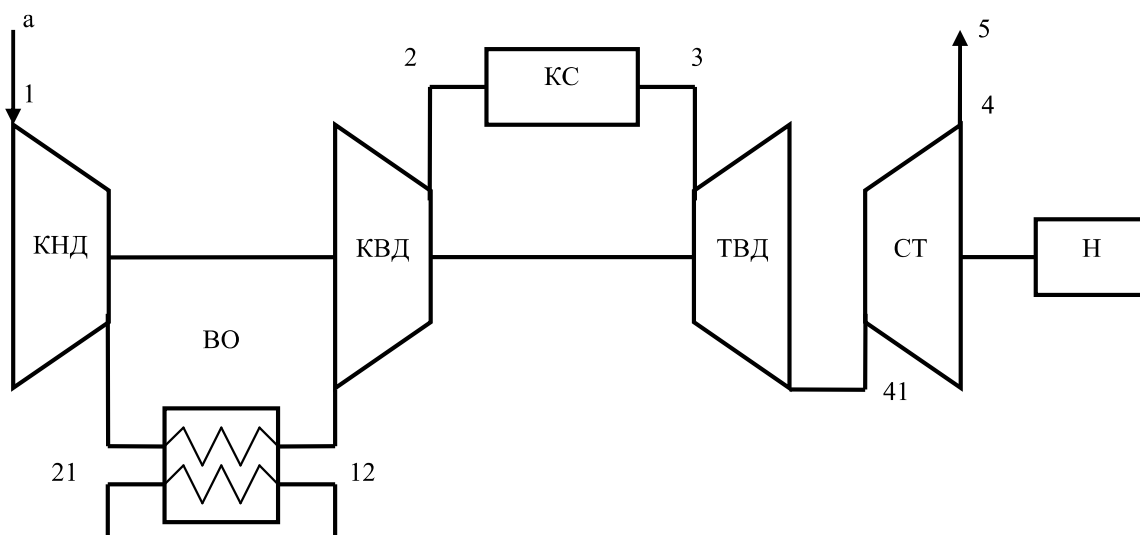


Рис 1. ГТУ с охлаждением в процессе сжатия

АЛГОРИТМ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТА

Компрессор низкого давления (КНД)

1. Температура воздуха за входным устройством

$$T_1^* = T_a, K. \quad (1)$$

2. Давление воздуха за входным устройством

$$P_1^* = P_a \cdot \sigma_{\text{вх}}, \text{МПа}. \quad (2)$$

3. По прил. 1 находим показатель адиабаты κ воздуха при температуре T_1^* и $\alpha = \infty$.

4. Предварительное значение температуры воздуха за компрессором

$$T_{21}^* = T_1^* \cdot \pi_{\text{КНД}}^* \frac{\kappa-1}{\kappa \cdot \eta_{\text{ПКНД}}}, K. \quad (3)$$

5. Средняя температура воздуха в процессе сжатия

$$T_{cp} = (T_1^* + T_{21}^*)/2, K. \quad (4)$$

6. По прил. 1 находим показатель адиабаты воздуха κ при температуре T_{cp} и $\alpha = \infty$.

7. Уточнённое значение температуры воздуха за компрессором

$$T_{21}^* = T_1^* \cdot \pi_{\text{КНД}}^* \frac{\kappa-1}{\kappa \cdot \eta_{\text{ПКНД}}}, K. \quad (5)$$

8. Давление воздуха за КНД

$$P_{21}^* = P_1^* \cdot \pi_{\text{КНД}}^*, \text{МПа}. \quad (6)$$

9. По прил. 2 находим истинную массовую изобарную теплоёмкость воздуха C_p при температуре T_{cp} и $\alpha = \infty$, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot K)$.

10. Удельная работа сжатия воздуха в КНД

$$l_{\text{кнд}} = C_p \cdot (T_{21}^* - T_1^*), \text{кДж}/\text{кг}. \quad (7)$$

11. Мощность, затрачиваемая на привод КНД

$$N_{кнд} = l_{кнд} \cdot G_6, \text{ кВт.} \quad (8)$$

Воздухоохладитель (ВО)

1. Температура воздуха за ВО

$$T_{12}^* = T_{21}^* - \theta \cdot (T_{21}^* - T_a), \text{ К.} \quad (9)$$

2. Давление воздуха за ВО

$$P_{12}^* = P_{21}^* \cdot \sigma_{60}, \text{ МПа.} \quad (10)$$

3. Средняя температура воздуха в ВО

$$T_{cp} = (T_{21}^* + T_{12}^*)/2, \text{ К.} \quad (11)$$

4. По прил. 2 находим истинную массовую изобарную теплоёмкость воздуха C_p при температуре T_{cp} и $\alpha = \infty$, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.

5. Тепловая мощность, отбираемая от воздуха в ВО

$$Q_{60} = C_p \cdot (T_{12}^* - T_{21}^*) \cdot G_6, \text{ кВт.} \quad (12)$$

Компрессор высокого давления (КВД)

1. По прил. 1 находим показатель адиабаты воздуха κ при температуре T_{12}^* и $\alpha = \infty$.

2. Предварительное значение температуры воздуха за компрессором

$$T_2^* = T_{12}^* \cdot \pi_{КВД}^{\frac{\kappa-1}{\kappa \cdot \eta_{пквд}}}, \text{ К.} \quad (13)$$

3. Средняя температура воздуха в процессе сжатия в КВД

$$T_{cp} = (T_{12}^* + T_2^*)/2, \text{ К.} \quad (14)$$

4. По прил. 1 находим показатель адиабаты воздуха κ при температуре T_{cp} и $\alpha = \infty$.

5. Уточнённое значение температуры воздуха за компрессором

$$T_2^* = T_{12}^* \cdot \pi_{КВД}^{\frac{\kappa-1}{\kappa \cdot \eta_{пквд}}}, \text{ К.} \quad (15)$$

6. Давление воздуха за КНД

$$P_2^* = P_{12}^* \cdot \pi_{КВД}^*, \text{ МПа.} \quad (16)$$

7. Степень сжатия в ГТУ

$$\pi_K^* = P_2^* / P_1^*. \quad (17)$$

8. По прил. 2 находим истинную массовую изобарную теплоёмкость воздуха C_p при температуре T_{cp} и $\alpha = \infty$, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.

9. Удельная работа сжатия воздуха в КВД

$$l_{квд} = C_p \cdot (T_2^* - T_{12}^*), \text{ кДж}/\text{кг.} \quad (18)$$

10. Мощность, затрачиваемая на привод КВД

$$N_{квд} = l_{квд} \cdot G_6, \text{ кВт.} \quad (19)$$

Камера сгорания (КС)

1. По прил. 3 находим среднюю удельную теплоёмкость продуктов сгорания C_{pm}^{PC} при температуре T_3^* и $\alpha = 1$, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.
2. По прил. 3 находим среднюю удельную теплоёмкость воздуха до КС C_{pm2} и после КС C_{pm3} при температуре T_2^* , T_3^* и $\alpha = \infty$, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.
3. Коэффициент избытка воздуха

$$\alpha = \frac{Q_T \cdot \eta_{KC} - (1 + L) \cdot C_{pm}^{PC} \cdot T_3^* + L \cdot C_{pm3} \cdot T_3^* + C_{pm}^T \cdot T_T^*}{L \cdot (C_{pm3} \cdot T_3^* - C_{pm2} \cdot T_2^*)}. \quad (20)$$

4. Относительный расход топлива

$$g_m = 1 / (\alpha \cdot L). \quad (21)$$

5. Расход топливного газа

$$G_m = g_m \cdot G_{\theta}, \text{ кг/с}. \quad (22)$$

6. Расход смеси продуктов сгорания и вторичного воздуха (газа)

$$G_z = G_{\theta} + G_m, \text{ кг/с}. \quad (23)$$

7. Тепловая мощность КС

$$Q_{KC} = G_m \cdot Q_m \cdot \eta_{KC}, \text{ кВт}. \quad (24)$$

8. Давление за КС

$$P_3^* = P_2^* \cdot \sigma_{KC}, \text{ МПа}. \quad (25)$$

Турбина высокого давления (ТВД)

1. Мощность ТВД

$$N_{m\theta\delta} = (N_{кнд} + N_{квд}) / \eta_{мех}, \text{ кВт}. \quad (26)$$

2. Удельная работа расширения газа в ТВД

$$l_{m\theta\delta} = N_{m\theta\delta} / G_z, \text{ кДж/кг}. \quad (27)$$

3. По прил. 2 находим истинную массовую изобарную теплоёмкость газа C_p при температуре T_3^* и α , рассчитанной в пункте 3 блока КС, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.

4. Предварительное значение температуры за ТВД

$$T_{41}^* = T_3^* - l_{m\theta\delta} / C_p, \text{ К}. \quad (28)$$

5. Средняя температура в процессе расширения в ТВД

$$T_{cp} = (T_3^* + T_{41}^*) / 2, \text{ К}. \quad (29)$$

6. По прил. 2 находим истинную массовую изобарную теплоёмкость газа C_p при температуре T_{cp} и α , рассчитанной в пункте 3 блока КС, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.

7. По прил. 1 находим показатель адиабаты газа κ при температуре T_{cp} и α , рассчитанной в пункте 3 блока КС.

8. Уточненное значение температуры за ТВД

$$T_{41}^* = T_3^* - l_{m\theta\delta} / C_p, \text{ К}. \quad (30)$$

9. Степень расширения в ТВД

$$\pi_{ТВД}^* = \left(\frac{T_3^*}{T_{41}^*} \right)^{\frac{\kappa}{(\kappa-1)\eta_{ПТ}}} . \quad (31)$$

10. Давление за ТВД

$$P_{41}^* = P_3^* / \pi_{ТВД}^* , \text{ МПа.} \quad (32)$$

Силовая турбина (СТ)

1. Степень расширения в СТ

$$\pi_{СТ}^* = (P_{41}^* \cdot \sigma_{вблх}) / P_a . \quad (33)$$

2. По прил. 1 находим показатель адиабаты газа κ при температуре T_{41}^* и α , рассчитанной в пункте 3 блока КС.

3. Предварительное значение температуры газа за СТ

$$T_4^* = T_{41}^* \cdot \pi_{СТ}^{*\frac{(1-\kappa)\eta_{ПТ}}{\kappa}} , K . \quad (34)$$

4. Средняя температура в процессе расширения газа в СТ

$$T_{ср} = (T_{41}^* + T_4^*) / 2 , K . \quad (35)$$

5. По прил. 1 находим показатель адиабаты газа κ при температуре $T_{ср}$ и α , рассчитанной в пункте 3 блока КС.

6. Уточняем значение температуры газа за СТ

$$T_4^* = T_{41}^* \cdot \pi_{СТ}^{*\frac{(1-\kappa)\eta_{ПТ}}{\kappa}} , K . \quad (36)$$

7. По прил. 2 находим истинную массовую изобарную теплоёмкость газа C_p при температуре $T_{ср}$ и α , рассчитанной в пункте 3 блока КС, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$.

8. Мощность СТ

$$N_{СТ} = G_2 \cdot C_p (T_{41}^* - T_4^*) , \text{ кВт.} \quad (37)$$

Суммарные параметры ГТУ

1. Эффективная мощность ГТУ

$$N_e = N_{СТ} \cdot \eta_{мех} , \text{ кВт.} \quad (38)$$

2. КПД ГТУ

$$\eta = N_e / Q_{КС} . \quad (39)$$

Полученные результаты расчётов при всех значениях π_K^* сводим в таблицу и затем строим графики зависимости N_e и η от π_K^* (рис. 2, рис. 3). Затем находим оптимальную степень сжатия в компрессоре по формуле:

$$\pi_K^{ОПТ} = \sqrt{\pi_{K\eta} \cdot \pi_{KN}} , \quad (40)$$

где $\pi_{K\eta}$ - максимальное значение степени сжатия от КПД ГТУ;

π_{KN} - максимальное значение степени сжатия от мощности ГТУ.

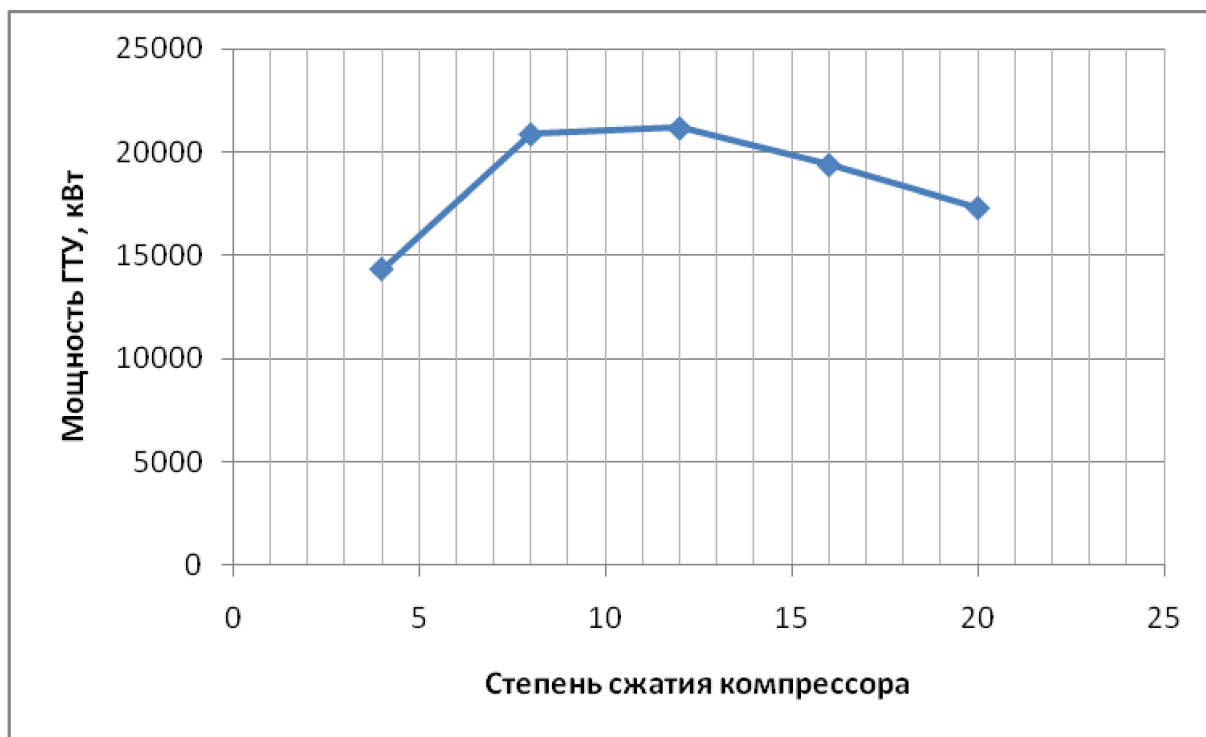


Рис. 2. Пример зависимость мощности ГТУ от степени сжатия компрессора

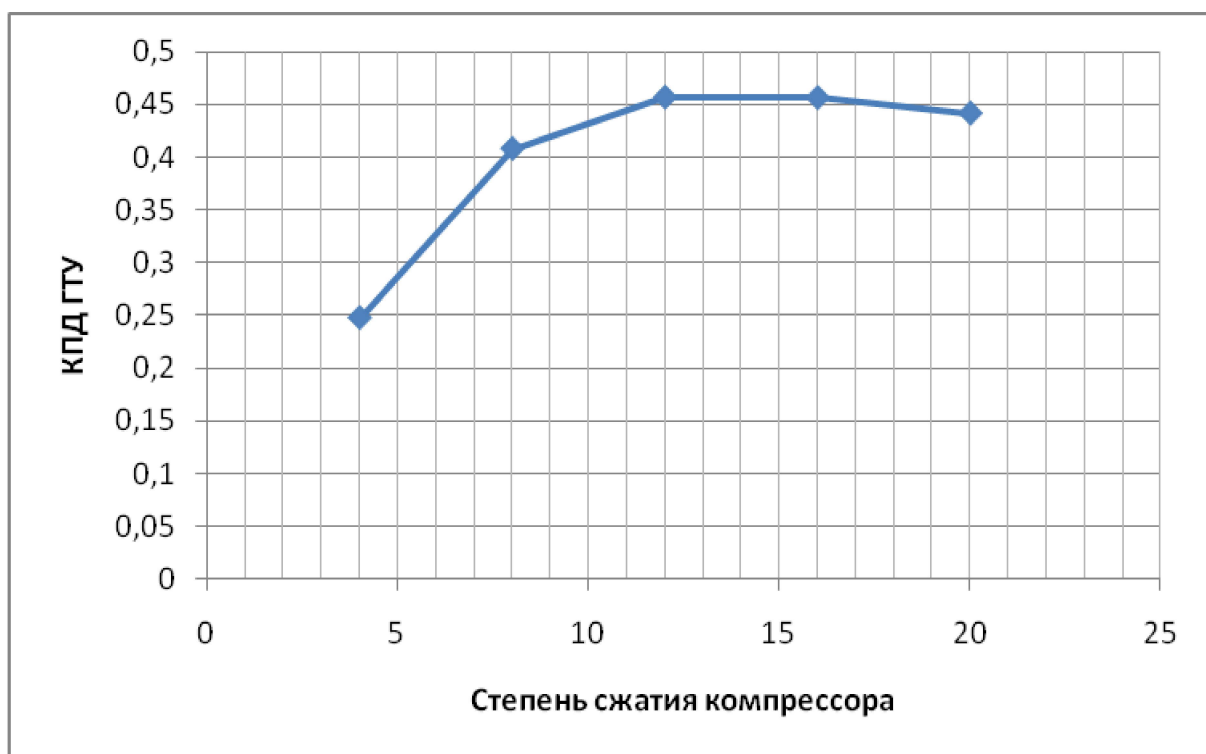


Рис. 3. Пример зависимости КПД ГТУ от степени сжатия компрессора

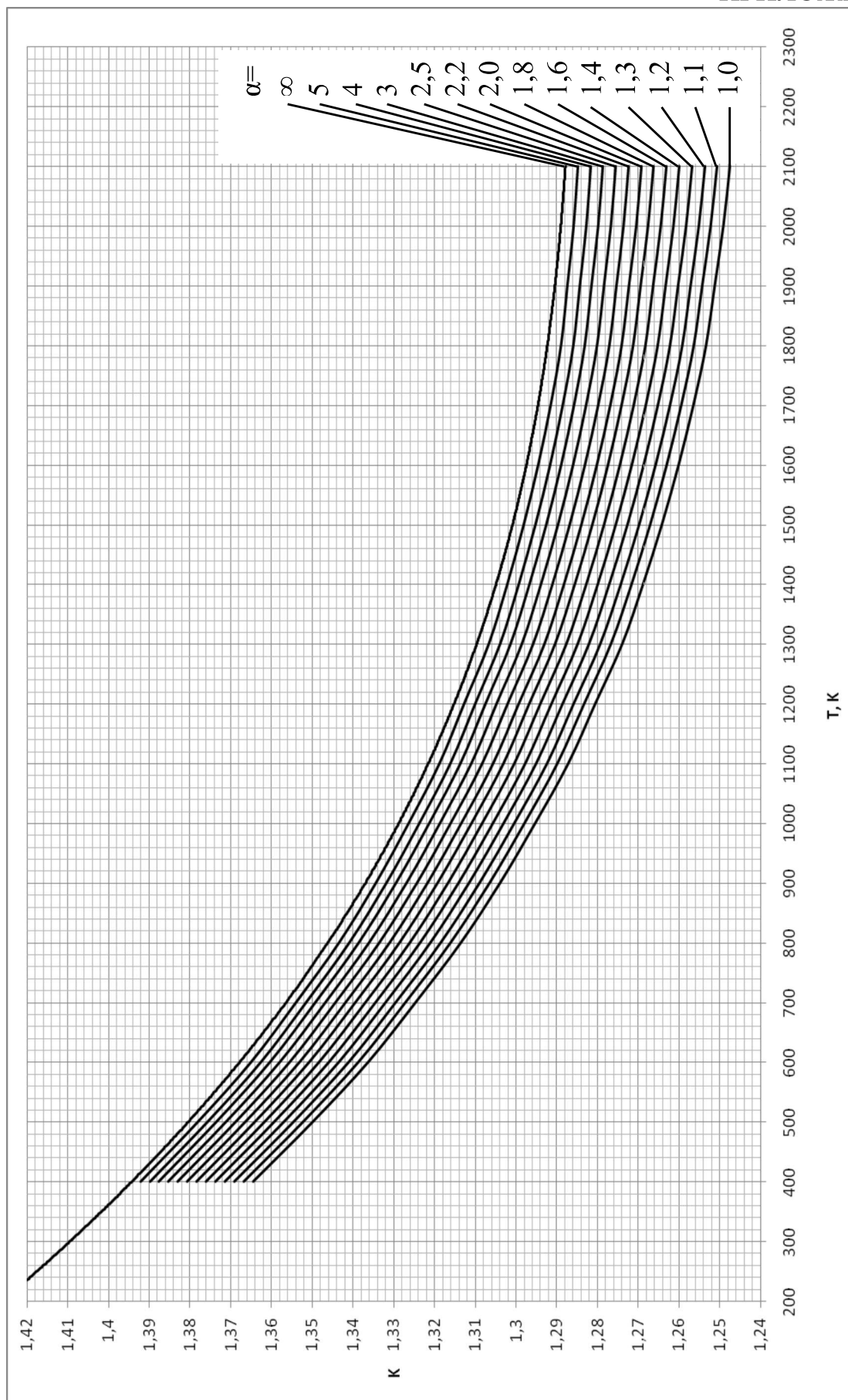


Рис. 4. Истинный показатель адиабаты k продуктов сгорания при различных коэффициентах избытка воздуха α

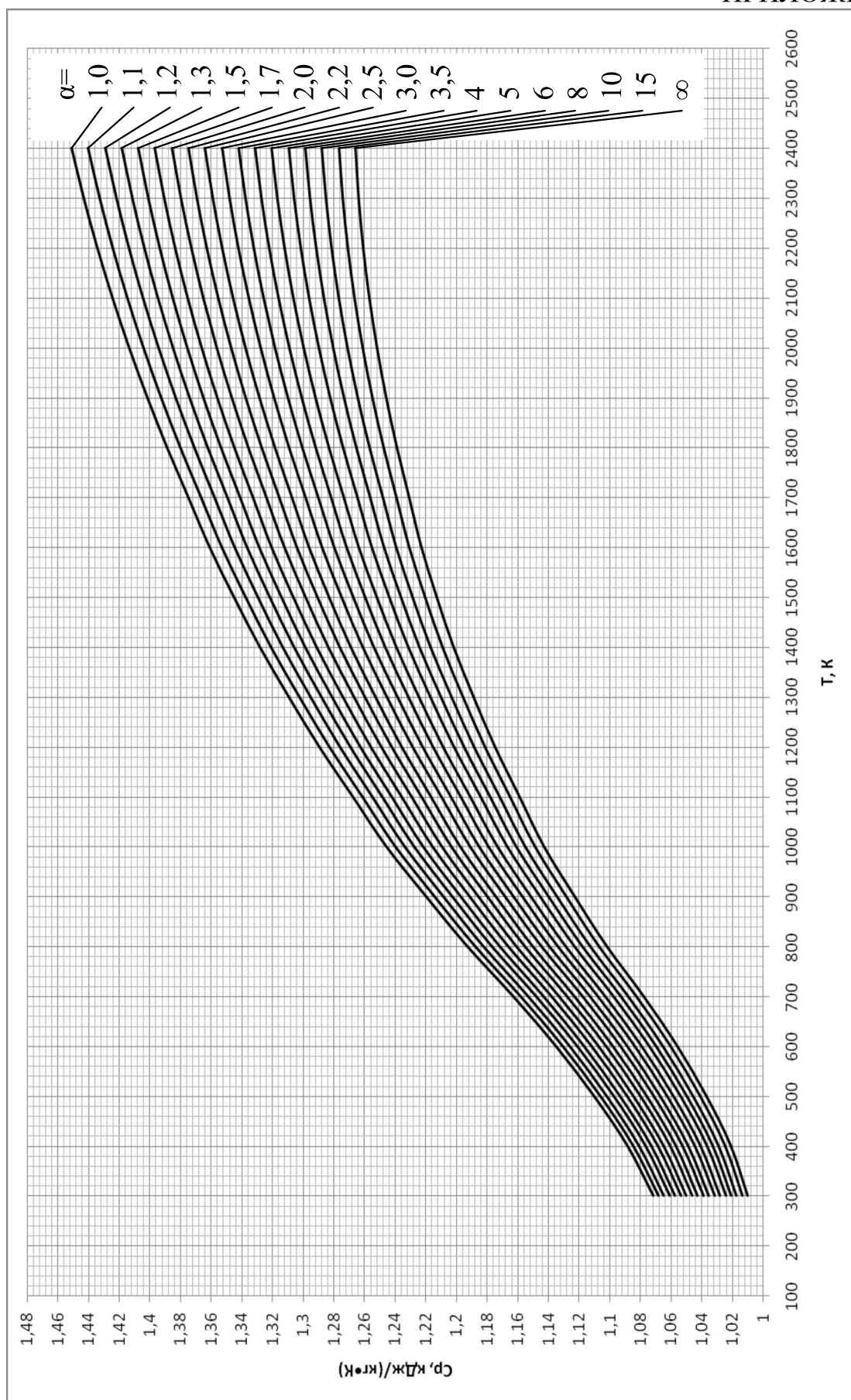


Рис. 5. Истинная удельная теплоемкость C_p продуктов сгорания при различных коэффициентах избытка воздуха α

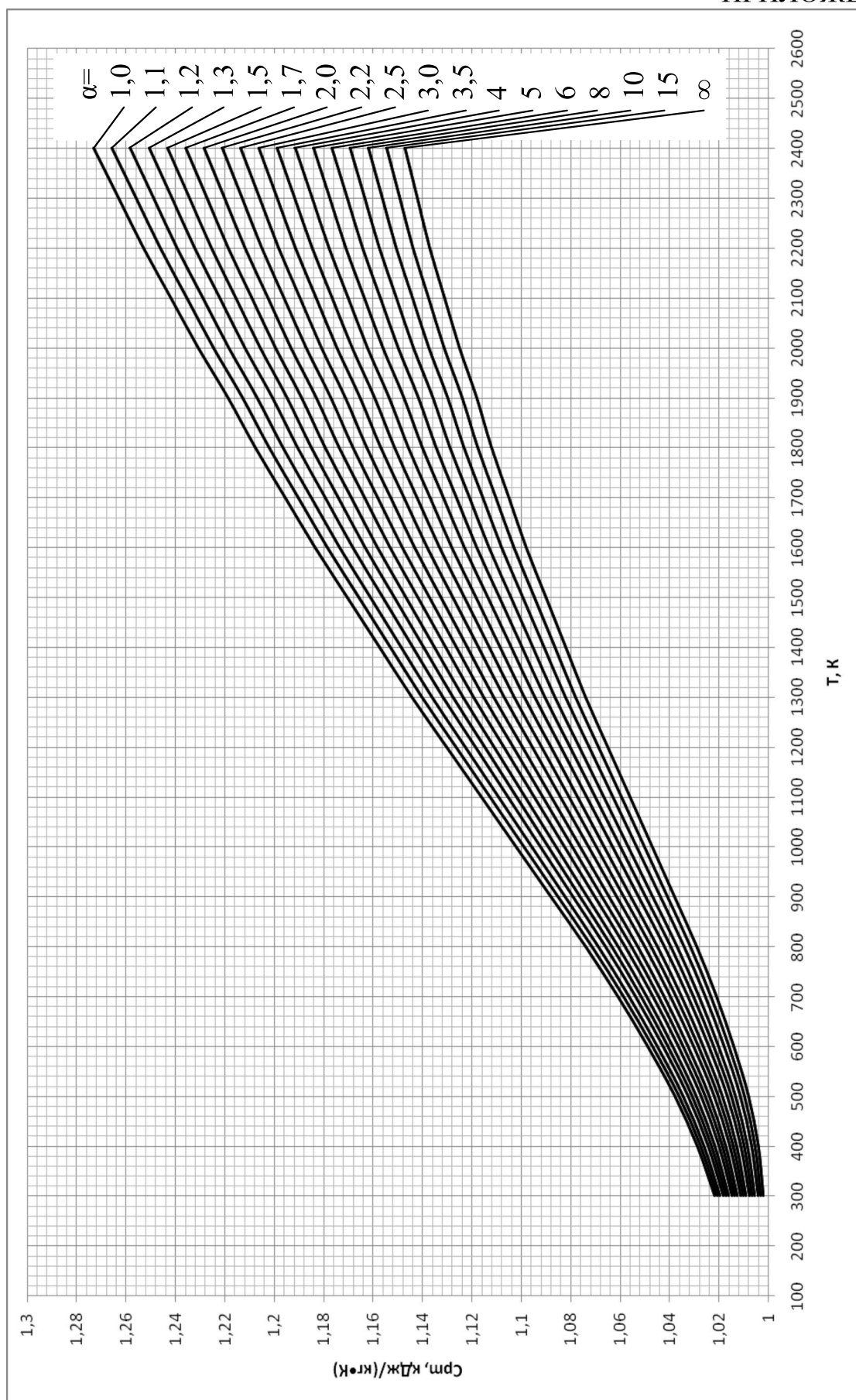


Рис. 6. Средняя удельная теплоемкость C_{pm} продуктов сгорания при различных коэффициентах избытка воздуха α

ЛИТЕРАТУРА

1. Эксплуатация насосно-силового оборудования на объектах трубопроводного транспорта [Текст] : 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.
2. Транспорт и хранение нефти и газа в примерах и задачах [Текст] : учебное пособие для студентов нефтегазового профиля / Г. В. Бахмат [и др.] ; ред. Ю. Д. Земенков ; ТюмГНГУ. - Тюмень : Вектор Бук, 2010. - 544 с.
3. Газоперекачивающие агрегаты с газотурбинным приводом на магистральных газопроводах [Текст] : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 130500 "Нефтегазовое дело" / Б. П. Поршаков [и др.] ; дар. РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина. - М. : Недра, 2010. - 245 с.
4. Эксплуатация магистральных газопроводов [Текст] : учебное пособие для студентов нефтегазового профиля / ТюмГНГУ ; ред. Ю. Д. Земенков. - Тюмень : Вектор Бук, 2009. - 526 с.
5. Эксплуатация оборудования и объектов газовой промышленности. (Справочник мастера по эксплуатации оборудования газовых объектов) [Текст] : учебное пособие для студентов нефтегазового профиля : в 2 т. / Г. Г. Васильев [и др.] ; ред. Ю. Д. Земенков. - М. : Инфра-Инженерия. Т1, Т2 - 2008. - 606 с.
6. Зрелов, Владимир Андреевич. Отечественные газотурбинные двигатели. Основные параметры и конструктивные схемы [Текст] : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальностям 160201 "Самолето- и вертолетостроение" и 160301 "Авиационные двигатели и энергетические установки" / В. А. Зрелов. - М. : Машиностроение, 2005. - 336 с.
7. Основы технической термодинамики, термохимии и анализ циклов газотурбинных установок [Текст] / А. П. Безухов [и др.] ; под ред. И. А. Богова. - СПб. : Энергомашиностроение, 2005. - 189 с.
8. Теплообменные аппараты и системы охлаждения газотурбинных и комбинированных установок [Текст] : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов "Энергомашиностроение" / под ред. А. И. Леонтьева. - 2-е изд., стереотип. - М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. - 592 с.
9. Бронников, А. Н. Методология проведения технического обслуживания и ремонта газотурбинных газоперекачивающих агрегатов и оценка качества ремонтных работ [Текст] : обзорная информация / А. Н. Бронников ; ИРЦ Газпром. - М. : ИРЦ Газпром, 2004. - 32 с.
10. Цанев, Стефан Васильевич. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций [Текст] : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению 650800 "Теплоэнергетика", специальности 100500 "Тепловые электрические станции" по дисциплинам "Парогазовые и газотурбинные установки электростанций" и "Тепловые и атомные электрические станции" / С. В. Цанев, В. Д. Буров, А. Н. Ремезов. - М. : МЭИ, 2002. - 574 с.
11. Микаэлян, Эдуард Амаякович. Техническое обслуживание энерготехнологического оборудования, газотурбинных газоперекачивающих агрегатов системы сбора и транспорта газа. Методология, исследования, анализ и практика [Текст] : учебное пособие / Э. А. Микаэлян. - М. : Топливо и энергетика, 2000. - 304 с.

Методические указания для контрольных работ по дисциплине
«Газотурбинные установки» для студентов направления
131000.62 «Нефтегазовое дело»
заочной формы обучения

Составитель: Кирилл Ариевич Акулов, ассистент

Подписано в печать _____ 2013. Формат 60×90 1/16. Усл.печ.л. _____
Тираж _____ экз. Заказ № _____.

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

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