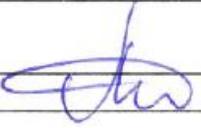


ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
ПРИЕМ 2020 г.
ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная

Газотурбинные установки

Направление подготовки/ специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело»		
Образовательная программа (направленность (профиль))	Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов		
Специализация	Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов		
Уровень образования	высшее образование - магистратура		
Курс	1	семестр	1
Трудоемкость в кредитах (зачетных единицах)	3		

Руководитель ОНД		И.А. Мельник
Руководитель ООП		К.К. Манабаев
Преподаватель		Н.В. Чухарева

2020 г.

1. Роль дисциплины «Организация работ по техническому обслуживанию и ремонту нефтегазового оборудования» в формировании компетенций выпускника:

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций		Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенции)	
		Код индикатора	Наименование индикатора достижения	Код	Наименование
ПК(У)-1	Способность оценивать эффективность инновационных решений и анализировать возможные технологические риски их реализации.	И.ПК(У)-1.1	Способен оценивать возможные риски от внедрения новой техники, рационализаторских предложений	ПК(У)-1.31	Знает научно-технические достижения, передовой отечественный и зарубежный опыт в области эксплуатации технологического оборудования нефтегазового комплекса
				ПК(У)-1.У1	Умеет оценивать риски внедрения новой техники, технологий, инновационных решений
				ПК(У)-1.В1	Владеет методиками расчета эффективности модернизации оборудования

2. Показатели и методы оценивания

Планируемые результаты обучения по дисциплине		Код индикатора достижения контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование раздела дисциплины	Методы оценивания (оценочные мероприятия)
Код	Наименование			
РД 1	Выбирать оптимальные режимы эксплуатации газотурбинных установок газоперекачивающих агрегатов		Раздел 1. Особенности и основные принципы технологического исполнения ГТУ	Входной контроль Защита практических работ Защита лабораторных работ Зачет
			Раздел 2. Характеристика элементов ГТУ и развитие осложняющих процессов при их	

			эксплуатации	
			Раздел 3. Повышение экономичности и эффективности ГТУ	
РД2	Рассчитывать основные термогазодинамические параметры и технологические характеристики ГТУ		Раздел 1. Особенности и основные принципы технологического исполнения ГТУ	Защита практических работ Защита лабораторных работ Контрольная работа 1 Зачет
			Раздел 2. Характеристика элементов ГТУ и развитие осложняющих процессов при их эксплуатации	
РД3	Выбирать оптимальные режимы эксплуатации газотурбинных установок газоперекачивающих агрегатов		Раздел 2. Характеристика элементов ГТУ и развитие осложняющих процессов при их эксплуатации	Защита практических работ Защита лабораторных работ Контрольная работа 2 Реферат Зачет
			Раздел 3. Повышение экономичности и эффективности ГТУ	

3. Шкала оценивания

Порядок организации оценивания результатов обучения в университете регламентируется отдельным локальным нормативным актом – «Система оценивания результатов обучения в Томском политехническом университете (Система оценивания)» (в действующей редакции). Используется балльно-рейтинговая система оценивания результатов обучения. Итоговая оценка (традиционная и литерная) по видам учебной деятельности (изучение дисциплин, УИРС, НИРС, курсовое проектирование, практики) определяется суммой баллов по результатам текущего контроля и промежуточной аттестации (итоговая рейтинговая оценка - максимум 100 баллов).

Распределение основных и дополнительных баллов за оценочные мероприятия текущего контроля и промежуточной аттестации устанавливается календарным рейтинг-планом дисциплины.

Рекомендуемая шкала для отдельных оценочных мероприятий входного и текущего контроля

% выполнения задания	Соответствие традиционной оценке	Определение оценки
90%÷100%	«Отлично»	Отличное понимание предмета, всесторонние знания, отличные умения и владение опытом практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, их качество оценено количеством баллов, близким к максимальному
70% - 89%	«Хорошо»	Достаточно полное понимание предмета, хорошие знания, умения и опыт практической

		деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, качество ни одного из них не оценено минимальным количеством баллов
55% - 69%	«Удовл.»	Приемлемое понимание предмета, удовлетворительные знания, умения и опыт практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, качество некоторых из них оценено минимальным количеством баллов
0% - 54%	«Неудовл.»	Результаты обучения не соответствуют минимально достаточным требованиям

Шкала для оценочных мероприятий зачета

% выполнения заданий экзамена	Зачет, балл	Соответствие традиционной оценке	Определение оценки
90%÷100%	18 ÷ 20	«Отлично»	Отличное понимание предмета, всесторонние знания, отличные умения и владение опытом практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, их качество оценено количеством баллов, близким к максимальному
70% - 89%	14 ÷ 17	«Хорошо»	Достаточно полное понимание предмета, хорошие знания, умения и опыт практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, качество ни одного из них не оценено минимальным количеством баллов
55% - 69%	11 ÷ 13	«Удовл.»	Приемлемое понимание предмета, удовлетворительные знания, умения и опыт практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, качество некоторых из них оценено минимальным количеством баллов
0% - 54%	0 ÷ 10	«Неудовл.»	Результаты обучения не соответствуют минимально достаточным требованиям

4. Перечень типовых заданий

№п/п	Оценочные мероприятия	Примеры типовых контрольных заданий
Раздел 1. Особенности и основные принципы технологического исполнения ГТУ		
1	Входной контроль	Вопросы:
		<ol style="list-style-type: none"> 1. Физический смысл Первого закона термодинамики 2. Физический смысл Второго закона термодинамики 3. Что такое энтальпия? 4. Что характеризует энтропия системы 5. Общее понятие о процессах тепло- и массопереноса веществ. 6. От чего может зависеть устойчивая работа теплового двигателя?

		7. Где применяют турбинные технологии? 8. Приведите пример простейшей турбины. 9. Что такое работа физического тела и от чего она зависит ?																																																																									
2	Защита практической работы №1 Расчет идеального цикла газовой турбины с подводом теплоты при постоянном объеме	<p>Вопросы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Что такое идеальный цикл ГТУ и какие допущения для его описания принимаются. 2. Опишите внутренние и внешние потери ГТУ. 3. Определение удельного объема и удельной работы расширения рабочего тела в ГТУ при постоянном объеме. 4. Как рассчитать удельное количество отведенной теплоты? 5. От чего зависит термический КПД цикла? 6. Удельная теплоемкость воздуха при постоянном объеме. 7. Что может повлиять на изменение удельной работы сжатия? 8. Что может повлиять на изменение удельной работы расширения? 9. Как подвод тепла влияет на параметры ГТУ? 	<p>Задание:</p> <p>Для идеального цикла газовой турбины с подводом теплоты при постоянном объеме $v = \text{const}$ найти параметры в характерных точках, работу расширения, работу сжатия, полезную работу, термический КПД, количество подведенной и отведенной теплоты. Рабочее тело – воздух. Теплоемкости принять постоянными</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">№ варианта</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><i>Величина</i></td> <td><i>Размерность</i></td> <td colspan="6"><i>Значения</i></td> </tr> <tr> <td>p_1</td> <td>МПа</td> <td>0,11 0</td> <td>0,102</td> <td>0,098</td> <td>0,089</td> <td>0,105</td> <td>0,109</td> </tr> <tr> <td>T_1</td> <td>К</td> <td>280</td> <td>290</td> <td>300</td> <td>295</td> <td>288</td> <td>305</td> </tr> <tr> <td>T_3</td> <td>К</td> <td colspan="6">1000</td> </tr> <tr> <td>β</td> <td></td> <td>10</td> <td>9</td> <td>8</td> <td>7</td> <td>10</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>k</td> <td></td> <td colspan="6">1,4</td> </tr> <tr> <td>Рабочее тело</td> <td></td> <td colspan="6">воздух</td> </tr> </tbody> </table>	№ варианта		1	2	3	4	5	6	<i>Величина</i>	<i>Размерность</i>	<i>Значения</i>						p_1	МПа	0,11 0	0,102	0,098	0,089	0,105	0,109	T_1	К	280	290	300	295	288	305	T_3	К	1000						β		10	9	8	7	10	9	k		1,4						Рабочее тело		воздух													
№ варианта		1	2	3	4	5	6																																																																				
<i>Величина</i>	<i>Размерность</i>	<i>Значения</i>																																																																									
p_1	МПа	0,11 0	0,102	0,098	0,089	0,105	0,109																																																																				
T_1	К	280	290	300	295	288	305																																																																				
T_3	К	1000																																																																									
β		10	9	8	7	10	9																																																																				
k		1,4																																																																									
Рабочее тело		воздух																																																																									
3	Защита практической работы №2 Расчет идеального цикла газовой турбины с подводом теплоты при постоянном давлении	<p>Вопросы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Дайте описание термодинамического цикла ГТУ с подводом теплоты при постоянном давлении: процессы на PV- и TS-диаграммах. 2. Дайте описание термодинамического цикла ГТУ с подводом теплоты при постоянном объеме: процессы на PV- и TS-диаграммах. 3. Дайте определение термического КПД цикла ГТУ (развернуто). 4. Чем отличаются циклы ГТУ с подводом теплоты при постоянном давлении и постоянном объеме? 5. Обоснуйте перспективность использования ГТУ на компрессорных станциях (примеры) 6. Расчет удельной работы сжатия и расширения. 7. Как влияет изменение энтропии на термический КПД ГТУ? 8. От чего зависит теплоемкость топлива? 9. От чего зависит теплоемкость воздуха? 	<p>Задание:</p> <p>Для идеального цикла газовой турбины с подводом теплоты при постоянном давлении $p = \text{const}$ найти параметры в характерных точках, работу расширения, работу сжатия, полезную работу, термический КПД, количество подведенной и отведенной теплоты. Рабочее тело – воздух. Теплоемкость (c_p) принять постоянной</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">№ варианта</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><i>Величина</i></td> <td><i>Размерность</i></td> <td colspan="6"><i>Значения</i></td> </tr> <tr> <td>p_1</td> <td>МПа</td> <td colspan="6">0,1</td> </tr> <tr> <td>t_1</td> <td>°C</td> <td>17</td> <td>40</td> <td>25</td> <td>20</td> <td>30</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>t_3</td> <td>°C</td> <td>600</td> <td>-</td> <td>650</td> <td>-</td> <td>600</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>t_4</td> <td>°C</td> <td>-</td> <td>400</td> <td>-</td> <td>450</td> <td>-</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>λ</td> <td></td> <td>8</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>7</td> <td>10</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>k</td> <td></td> <td colspan="6">1,4</td> </tr> <tr> <td>Рабочее тело</td> <td></td> <td colspan="6">воздух</td> </tr> </tbody> </table>	№ варианта		1	2	3	4	5	6	<i>Величина</i>	<i>Размерность</i>	<i>Значения</i>						p_1	МПа	0,1						t_1	°C	17	40	25	20	30	35	t_3	°C	600	-	650	-	600	-	t_4	°C	-	400	-	450	-	500	λ		8	8	10	7	10	10	k		1,4						Рабочее тело		воздух					
№ варианта		1	2	3	4	5	6																																																																				
<i>Величина</i>	<i>Размерность</i>	<i>Значения</i>																																																																									
p_1	МПа	0,1																																																																									
t_1	°C	17	40	25	20	30	35																																																																				
t_3	°C	600	-	650	-	600	-																																																																				
t_4	°C	-	400	-	450	-	500																																																																				
λ		8	8	10	7	10	10																																																																				
k		1,4																																																																									
Рабочее тело		воздух																																																																									
4	Защита практической работы №3	Вопросы:	Задание:																																																																								

	<p>Расчет ТГДП по методике Чекардовского М.Н</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. В чем заключается методика Чекардовского? 2. Уравнения материального баланса топлива на горючую, рабочую и сухую массы. 3. Определение весовой горючей концентрации элементов топлива. 4. Как влияет состав топлива на коэффициент расхода воздуха? 5. От чего зависит коэффициент избытка воздуха? 6. Почему в компрессор обеспечивает больший объем воздуха, чем требуется для процесса горения газа в КС ГТУ? 7. Какие параметры в ГТУ измеряют при помощи датчиков? 8. Что может повлиять на температуру горения природного газа в КС? 9. При расчете каких свойств применяется правило аддитивности, позволяющее определять параметры процессов горения в ГТУ? 10. Приведите общую схему ГТУ, характеристики которой вы рассчитывали. 11. От чего зависит теплоемкость продуктов сгорания? 12. Как рассчитать эффективную мощность ГТУ? 13. Как рассчитать эффективный КПД ГТУ? 14. Влияние состава топлива на эффективный КПД. 15. Тепловой эквивалент топлива? 16. Как определить характеристику топлива E? 	<p>Определить эффективный КПД ГТУ, исходя из условий:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="3">Характеристики</th> <th colspan="7">Компоненты</th> </tr> <tr> <th>Г_{СН4}</th> <th>Г_{С2Н6}</th> <th>Г_{С3Н8}</th> <th>Г_{С4Н10}</th> <th rowspan="2">Г_{CO2}</th> <th rowspan="2">Г_{H2S}</th> <th rowspan="2">Г_{N2}</th> </tr> <tr> <th>Г_{С1}</th> <th>Г_{С2}</th> <th>Г_{С3}</th> <th>Г_{С4}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Молярная концентрация %, φ_i</td> <td>98,0</td> <td>0,4</td> <td>0,2</td> <td>0,0</td> <td>0,1</td> <td>-</td> <td>1,3</td> </tr> <tr> <td>Молекулярный вес, μ_i</td> <td>16,04</td> <td>30,07</td> <td>44,09</td> <td>58,12</td> <td>44,02</td> <td>-</td> <td>28</td> </tr> <tr> <td>Q_{НРi}, кДж/кг</td> <td>49933</td> <td>47415</td> <td>46302</td> <td>47327</td> <td>-</td> <td>21750</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>№ варианта</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td></td> </tr> <tr> <td><i>Величина</i></td> <td colspan="7"><i>Значения</i></td> </tr> <tr> <td>ρ_{15}</td> <td colspan="7">1,226</td> </tr> <tr> <td>ρ_H</td> <td colspan="7">0,690</td> </tr> <tr> <td>P_a</td> <td>МПа</td> <td>0,0987</td> <td>0,0900</td> <td>0,0968</td> <td>0,1000</td> <td>0,0968</td> <td>0,0987</td> </tr> <tr> <td>T_a</td> <td>К</td> <td>294</td> <td>294</td> <td>291</td> <td>274</td> <td>272</td> <td>290</td> </tr> <tr> <td>P_0</td> <td>МПа</td> <td>0,102</td> <td>0,0985</td> <td>0,0968</td> <td>0,0961</td> <td>0,0968</td> <td>0,097</td> </tr> <tr> <td>T_0</td> <td>К</td> <td>288</td> <td>294</td> <td>291</td> <td>295</td> <td>292</td> <td>293</td> </tr> <tr> <td>P_1</td> <td>МПа</td> <td>5,8</td> <td>5,80</td> <td>6,28</td> <td>6,15</td> <td>6,13</td> <td>6,0</td> </tr> <tr> <td>T_1</td> <td>К</td> <td>300</td> <td>297,1</td> <td>303,5</td> <td>289,4</td> <td>299,8</td> <td>300</td> </tr> <tr> <td>P_2</td> <td>МПа</td> <td>6,2</td> <td>6,49</td> <td>7,16</td> <td>6,03</td> <td>7,26</td> <td>6,0</td> </tr> <tr> <td>T_2</td> <td>К</td> <td>315,5</td> <td>306,9</td> <td>316,5</td> <td>302,5</td> <td>313,2</td> <td>310,5</td> </tr> <tr> <td>P_C</td> <td>МПа</td> <td>0,305</td> <td>0,3563</td> <td>0,3633</td> <td>0,3793</td> <td>0,4033</td> <td>0,300</td> </tr> <tr> <td>T_C</td> <td>К</td> <td>480</td> <td>550</td> <td>463</td> <td>485</td> <td>480</td> <td>570</td> </tr> <tr> <td>T_V</td> <td>К</td> <td>653</td> <td>657</td> <td>659</td> <td>650</td> <td>664</td> <td>760</td> </tr> <tr> <td>P_Z</td> <td>МПа</td> <td>0,36</td> <td>0,3513</td> <td>0,3603</td> <td>0,3563</td> <td>0,4</td> <td>0,38</td> </tr> <tr> <td>T_S</td> <td>К</td> <td>743</td> <td>641</td> <td>750</td> <td>850</td> <td>800</td> <td>940</td> </tr> <tr> <td>$P_{изб}$</td> <td>МПа</td> <td>0,0026</td> <td>0,0046</td> <td>0,0026</td> <td>0,003</td> <td>0,00310</td> <td>0,003</td> </tr> <tr> <td>$\Delta P_{пл}$</td> <td>МПа</td> <td>4,26·10⁻⁴</td> <td>4,16·10⁻⁴</td> <td>4,163·10⁻⁴</td> <td>4,362·10⁻⁴</td> <td>5,412·10⁻⁴</td> <td>4,30·10⁻⁴</td> </tr> <tr> <td>$\Delta P_{л}$</td> <td>МПа</td> <td>4,36·10⁻⁴</td> <td>4,18·10⁻⁴</td> <td>4,16·10⁻⁴</td> <td>4,350·10⁻⁴</td> <td>5,404·10⁻⁴</td> <td>4,36·10⁻⁴</td> </tr> <tr> <td>V</td> <td>кг/с</td> <td>0,665</td> <td>0,50</td> <td>0,555</td> <td>0,770</td> <td>0,662</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>$F_{пл}$</td> <td>м²</td> <td colspan="7">1,826</td> </tr> <tr> <td>$F_{л}$</td> <td>м²</td> <td colspan="7">1,826</td> </tr> </tbody> </table>	Характеристики	Компоненты							Г _{СН4}	Г _{С2Н6}	Г _{С3Н8}	Г _{С4Н10}	Г _{CO2}	Г _{H2S}	Г _{N2}	Г _{С1}	Г _{С2}	Г _{С3}	Г _{С4}	Молярная концентрация %, φ_i	98,0	0,4	0,2	0,0	0,1	-	1,3	Молекулярный вес, μ_i	16,04	30,07	44,09	58,12	44,02	-	28	Q _{НРi} , кДж/кг	49933	47415	46302	47327	-	21750	-	№ варианта	1	2	3	4	5	6		<i>Величина</i>	<i>Значения</i>							ρ_{15}	1,226							ρ_H	0,690							P_a	МПа	0,0987	0,0900	0,0968	0,1000	0,0968	0,0987	T_a	К	294	294	291	274	272	290	P_0	МПа	0,102	0,0985	0,0968	0,0961	0,0968	0,097	T_0	К	288	294	291	295	292	293	P_1	МПа	5,8	5,80	6,28	6,15	6,13	6,0	T_1	К	300	297,1	303,5	289,4	299,8	300	P_2	МПа	6,2	6,49	7,16	6,03	7,26	6,0	T_2	К	315,5	306,9	316,5	302,5	313,2	310,5	P_C	МПа	0,305	0,3563	0,3633	0,3793	0,4033	0,300	T_C	К	480	550	463	485	480	570	T_V	К	653	657	659	650	664	760	P_Z	МПа	0,36	0,3513	0,3603	0,3563	0,4	0,38	T_S	К	743	641	750	850	800	940	$P_{изб}$	МПа	0,0026	0,0046	0,0026	0,003	0,00310	0,003	$\Delta P_{пл}$	МПа	4,26·10 ⁻⁴	4,16·10 ⁻⁴	4,163·10 ⁻⁴	4,362·10 ⁻⁴	5,412·10 ⁻⁴	4,30·10 ⁻⁴	$\Delta P_{л}$	МПа	4,36·10 ⁻⁴	4,18·10 ⁻⁴	4,16·10 ⁻⁴	4,350·10 ⁻⁴	5,404·10 ⁻⁴	4,36·10 ⁻⁴	V	кг/с	0,665	0,50	0,555	0,770	0,662	0,85	$F_{пл}$	м ²	1,826							$F_{л}$	м ²	1,826						
Характеристики	Компоненты																																																																																																																																																																																																																																							
	Г _{СН4}	Г _{С2Н6}	Г _{С3Н8}		Г _{С4Н10}	Г _{CO2}	Г _{H2S}	Г _{N2}																																																																																																																																																																																																																																
	Г _{С1}	Г _{С2}	Г _{С3}	Г _{С4}																																																																																																																																																																																																																																				
Молярная концентрация %, φ_i	98,0	0,4	0,2	0,0	0,1	-	1,3																																																																																																																																																																																																																																	
Молекулярный вес, μ_i	16,04	30,07	44,09	58,12	44,02	-	28																																																																																																																																																																																																																																	
Q _{НРi} , кДж/кг	49933	47415	46302	47327	-	21750	-																																																																																																																																																																																																																																	
№ варианта	1	2	3	4	5	6																																																																																																																																																																																																																																		
<i>Величина</i>	<i>Значения</i>																																																																																																																																																																																																																																							
ρ_{15}	1,226																																																																																																																																																																																																																																							
ρ_H	0,690																																																																																																																																																																																																																																							
P_a	МПа	0,0987	0,0900	0,0968	0,1000	0,0968	0,0987																																																																																																																																																																																																																																	
T_a	К	294	294	291	274	272	290																																																																																																																																																																																																																																	
P_0	МПа	0,102	0,0985	0,0968	0,0961	0,0968	0,097																																																																																																																																																																																																																																	
T_0	К	288	294	291	295	292	293																																																																																																																																																																																																																																	
P_1	МПа	5,8	5,80	6,28	6,15	6,13	6,0																																																																																																																																																																																																																																	
T_1	К	300	297,1	303,5	289,4	299,8	300																																																																																																																																																																																																																																	
P_2	МПа	6,2	6,49	7,16	6,03	7,26	6,0																																																																																																																																																																																																																																	
T_2	К	315,5	306,9	316,5	302,5	313,2	310,5																																																																																																																																																																																																																																	
P_C	МПа	0,305	0,3563	0,3633	0,3793	0,4033	0,300																																																																																																																																																																																																																																	
T_C	К	480	550	463	485	480	570																																																																																																																																																																																																																																	
T_V	К	653	657	659	650	664	760																																																																																																																																																																																																																																	
P_Z	МПа	0,36	0,3513	0,3603	0,3563	0,4	0,38																																																																																																																																																																																																																																	
T_S	К	743	641	750	850	800	940																																																																																																																																																																																																																																	
$P_{изб}$	МПа	0,0026	0,0046	0,0026	0,003	0,00310	0,003																																																																																																																																																																																																																																	
$\Delta P_{пл}$	МПа	4,26·10 ⁻⁴	4,16·10 ⁻⁴	4,163·10 ⁻⁴	4,362·10 ⁻⁴	5,412·10 ⁻⁴	4,30·10 ⁻⁴																																																																																																																																																																																																																																	
$\Delta P_{л}$	МПа	4,36·10 ⁻⁴	4,18·10 ⁻⁴	4,16·10 ⁻⁴	4,350·10 ⁻⁴	5,404·10 ⁻⁴	4,36·10 ⁻⁴																																																																																																																																																																																																																																	
V	кг/с	0,665	0,50	0,555	0,770	0,662	0,85																																																																																																																																																																																																																																	
$F_{пл}$	м ²	1,826																																																																																																																																																																																																																																						
$F_{л}$	м ²	1,826																																																																																																																																																																																																																																						
5	<p>Защита лабораторной работы №1 Нормативно-техническое обеспечение эксплуатации газотурбинного двигателя в качестве привода ГПА</p>	<p>Вопросы:</p> <p>В соответствии с данными по ГОСТ Р 51852-2001 УСТАНОВКИ ГАЗОТУРБИННЫЕ:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Дайте определение ГТУ и ГТД. 2. Дайте определение и приведите схему ГТУ открытого и замкнутого цикла. 3. Дайте определение и приведите схему ГТУ простого цикла. 4. Дайте определение и приведите схему ГТУ регенеративного цикла. 5. Дайте определение и приведите схему ГТУ с циклом промежуточного охлаждения. 6. Дайте определение и приведите схему ГТУ с циклом промежуточного подогрева. 7. Дайте определение и приведите схему установка комбинированного цикла. 8. Дайте определение и приведите технологическую схему ГТУ полужамкнутого цикла. 9. В чем преимущества многовальнй ГТУ. 																																																																																																																																																																																																																																						

В соответствии с данными по ГОСТ Р ИСО 10816-4-99 КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ МАШИН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ ВИБРАЦИИ НА НЕВРАЩАЮЩИХСЯ ЧАСТЯХ:

1. На какие установки распространяется данный стандарт?
2. Какие факторы влияют на характеристики измерительной системы при использовании датчиков вибрации?
3. Границы зон вибрационного состояния.
4. Установка уровня ОСТАНОВ.
5. Установка уровня ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ.
6. Оценка вибрационного состояния на основе векторного представления информации.
7. Места контроля вибрации.
8. Как устанавливают вибродатчики на элементы ГТУ?
9. Какие бывают датчики вибрации?

6

Защита лабораторной работы №2
Материальный и тепловой балансы камер сгорания

Вопросы:

1. Что входит в расчет материального баланса КС ГТУ?
2. От чего может изменяться материальный баланс КС ГТУ?
3. Что входит в расчет теплового баланса КС ГТУ?
4. От чего может изменяться тепловой баланс КС ГТУ?
5. Что является калориметрической температурой для КС?
6. Укажите сколько известно теплот сгорания в зависимости от учета содержания в топливе влаги?
7. Дайте определение теплоемкости и теплопроводности.
8. На что влияет материальный баланс КС ГТУ?
9. На что влияет тепловой баланс КС ГТУ?

Задание:

Исходя из уравнения теплового баланса, определить тепловую мощность, подводимую к рабочему телу в камере сгорания, если известны следующие исходные данные, представленные в табл. 1, 2.

№ варианта	Исходные данные	Значения параметров
1-6	Теплоемкость воздуха при T ₂ , кДж/кгК	1,005
	-----при T ₃ , кДж/кгК	1,080
	Теплоемкость продуктов сгорания при T ₃ , кДж/кгК	1,180
	Удельная теплоемкость топлива T _т , кДж/кгК	2,85

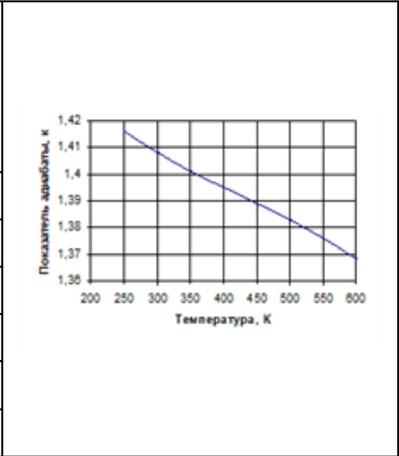
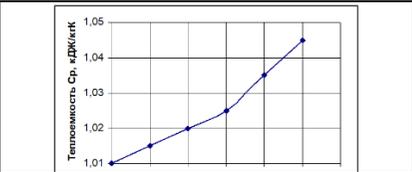
Исходные данные для расчета показателей работы камеры сгорания ГТУ

№ варианта	Температура воздуха на входе в КС T ₂ , °С	Температура воздуха на выходе из КС T ₃ , °С	Средняя температура топливного газа T _т , °С	Расход рабочего тела, кг/с			
				G _т топливо	G _в воздух	G _{в.сг.} продукты сгорания	G _{п.с.} остаточный воздух
1	2	3	4	5	6	7	8
1	180	1010	169	0,62	32	11	16
2	185	1015	160	0,66	31	12	13

3	190	1020	170	0,52	30	13	12
4	195	999	175	0,55	33	14	17
5	200	1000	177	0,50	30	10	18
6	205	1003	180	0,56	28	9	16

7	<p>Защита лабораторной работы №3</p> <p>Определение основных характеристик топлива, влияющих на эффективность работы ГТУ</p>	Вопросы:							
1		В каких пределах находятся значения коэффициента избытка воздуха для современных ГТУ	1	0,8...1					
			2	1...2					
			3	2...4					
			4	4...8					
2		Укажите горючую составляющую топлива	1	Углерод, водород, сера органическая, сера колчеданная					
			2	Углерод, водород, сера органическая, азот, кислород					
			3	Углерод, водород, сера органическая и сульфатная					
			4	Углерод, водород, сера органическая, сера колчеданная, азот, кислород					
3		Рассчитайте и укажите правильный ответ для теплового эквивалента топлива \mathcal{E} , если $Q_H = 50\,000$ кДж/кг	1	1,7					
			2	1,9					
			3	2,0					
			4	2,1					
4		При сгорании 1 кг углерода в атмосферу выделяется тепла, кДЖ	1	9 900					
			2	141 500					
			3	33 600					
			4	9 000					
			5	119 000					
5		Выберите уравнение материального баланса для сгорания сухого газообразного топлива,	1	$C+H+S+O+N+A=100\%$					
			2	$C+H+Sл+O+N+A+W=100\%$					
		3	$C+H+S+O+N=100\%$						
		4	$C+H+Sл+O+N=100\%$						
		5	$C+H+Sл+O+N+A=100\%$						
6	Сколько потребуется в кг кислорода для полного сжигания 1 кг серы	1	1						
		2	2,67						
		3	8						
7	Негорючая часть топлива это	1	Влага, зольность, сера сульфатная, азот						
		2	Кислород, азот, влага, зольность						
		3	Влага, зольность, азот, сера						
8	Дана характеристика сжигаемого топлива: Углерод- 73,79%; водород – 24,29%; Кислород – 1,92%. Сера – 0%. Определите теоретически необходимый расход сухого воздуха L_0 и укажите правильное значение	1	19,2						
		2	16,7						
		3	17,5						
		4	13,0						
		5	14,4						
		6	15,0						
9	Укажите, какой расход воздуха определяется, как минимальное количество воздуха, которое требуется для полного окисления всех горючих элементов топлива	1	теоретически необходимый						
		2	действительный						
8	Защита лабораторной работы №4	Вопросы:							

	Определение основных характеристик топлива, влияющих на эффективность работы ГТУ	<ol style="list-style-type: none"> 1. Как определяют коэффициент избытка воздуха? 2. Как определяют общую теплотворную способность топлива исходя из индивидуального состава компонентов, входящих в горючую смесь? 3. Как определяют теоретически необходимый состава сухого воздуха, требующийся для обеспечения процессов устойчивого горения? 4. Как определяют характеристику топлива, указывающую на степень отклонения модельной системы от идеальной? 5. Как определяют весовую горючую концентрацию элементов ТВС? 6. Как определяют массовый расход топлива по газоходам? 7. Как действительный расход воздуха может повлиять на эффективность работы ГТУ и продление ее эксплуатационного ресурса? 8. От чего зависит мощность турбины? 9. Как состав топлива влияет на устойчивость процессов горения?
--	---	---

9 Защита лабораторной работы №5, №6 Определение технологических параметров узлов ГТУ на стационарных режимах		<p>Вопросы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Определить давление и уточненное значение температуры воздуха за компрессором газотурбинной установки, если даны следующие исходные данные, представленные в таблице и на рисунке. <table border="1" data-bbox="656 667 1753 1123"> <thead> <tr> <th>№ варианта</th> <th>Температура воздуха перед компрессором, T_1, °C</th> <th>Соотношение граничных давлений в компрессоре, π_k</th> <th>Давление на входе в компрессор, P_1 МПа</th> <th>Термический КПД компрессора η, %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>15,1</td><td>9,2</td><td>0,1011</td><td>0,92</td></tr> <tr><td>2</td><td>16,2</td><td>8,3</td><td>0,1020</td><td>0,90</td></tr> <tr><td>3</td><td>15,8</td><td>8,9</td><td>0,1017</td><td>0,86</td></tr> <tr><td>4</td><td>15,4</td><td>9,0</td><td>0,1018</td><td>0,89</td></tr> <tr><td>5</td><td>15,0</td><td>9,5</td><td>0,1015</td><td>0,85</td></tr> <tr><td>6</td><td>16,3</td><td>8,0</td><td>0,1020</td><td>0,80</td></tr> </tbody> </table>  <ol style="list-style-type: none"> 2. Определить энтальпию (удельную работу сжатия) воздуха h и мощность Q компрессора низкого давления, если даны следующие исходные значения в таблице и на рисунке. Исходные данные для расчета показателей работы осевого компрессора низкого давления ГТУ <table border="1" data-bbox="656 1251 1718 1423"> <thead> <tr> <th>№ варианта</th> <th>Температура воздуха перед компрессором T_1, °C</th> <th>Температура воздуха после компрессора T_2, °C</th> <th>Расход воздуха M_v, кг/с</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>10</td><td>89</td><td>59</td></tr> <tr><td>2</td><td>12</td><td>91</td><td>66</td></tr> </tbody> </table> 	№ варианта	Температура воздуха перед компрессором, T_1 , °C	Соотношение граничных давлений в компрессоре, π_k	Давление на входе в компрессор, P_1 МПа	Термический КПД компрессора η , %	1	15,1	9,2	0,1011	0,92	2	16,2	8,3	0,1020	0,90	3	15,8	8,9	0,1017	0,86	4	15,4	9,0	0,1018	0,89	5	15,0	9,5	0,1015	0,85	6	16,3	8,0	0,1020	0,80	№ варианта	Температура воздуха перед компрессором T_1 , °C	Температура воздуха после компрессора T_2 , °C	Расход воздуха M_v , кг/с	1	10	89	59	2	12	91	66
	№ варианта	Температура воздуха перед компрессором, T_1 , °C	Соотношение граничных давлений в компрессоре, π_k	Давление на входе в компрессор, P_1 МПа	Термический КПД компрессора η , %																																												
1	15,1	9,2	0,1011	0,92																																													
2	16,2	8,3	0,1020	0,90																																													
3	15,8	8,9	0,1017	0,86																																													
4	15,4	9,0	0,1018	0,89																																													
5	15,0	9,5	0,1015	0,85																																													
6	16,3	8,0	0,1020	0,80																																													
№ варианта	Температура воздуха перед компрессором T_1 , °C	Температура воздуха после компрессора T_2 , °C	Расход воздуха M_v , кг/с																																														
1	10	89	59																																														
2	12	91	66																																														

		3	14	99	69	
		4	16	100	72	
		5	20	134	60	
		6	18	120	62	

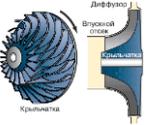
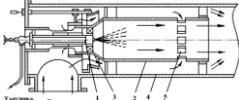
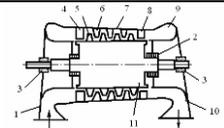
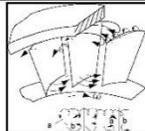
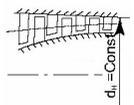
11	Контрольная работа 1	Вопросы:
		<ol style="list-style-type: none"> 1. История развития газотурбинного двигателя и его рациональность применения для привода ГПА? 2. Почему общий КПД ГТУ, используемого в качестве привода ГПА на компрессорных станциях для перекачки газовых сред не может превысить 50 % в идеальном случае и от чего зависит его изменение? 3. Опишите основные элементы ГТУ и процессы, которые в них происходят (принципиальная схема, термодинамический цикл на PV- и TS-диаграммах). 4. Современные ГТУ стационарного типа, их достоинства и недостатки. 5. Одновальные ГТУ. Их достоинства и недостатки. 6. ГТУ двухвальные. Достоинства и недостатки. 7. ГТУ комбинированного типа. Их достоинства и недостатки. 8. ГТУ с регенерацией тепла отходящих газов. Их достоинства и ограничения в применении. 9. ГТУ с промежуточным охлаждением и подогревом. Их достоинства и недостатки.

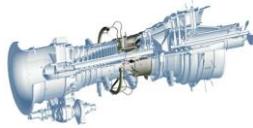
Раздел 2. Характеристика элементов ГТУ и развитие осложняющих процессов при их эксплуатации

		№ задания	Вопрос	Вариант ответа	
12	Тестирование 1	1	Способ повышения экономичности работы ГТУ, путем сокращения вредных выбросов в атмосферу	1	Горение обедненной ТВС
				2	Введение в камеру сгорания дополнительных форсуночных устройств
				3	Применение системы предварительного сжатия воздуха перед осевым компрессором
				4	Введение системы регенерации тепла отработанных продуктов сгорания
		2	Отрыв пламени в камере сгорания ГТУ происходит в результате	1	В результате засорения топливных форсунок
				2	В результате изменения объемного соотношения между топливом и воздухом
				3	В результате превышения скорости подачи ТВС над скоростью распространения пламени
				4	В результате превышение скорости распространения пламени над скорость подачи ТВС
		3	Повышение КПД осевого компрессора может быть вследствие	1	Применения термически устойчивых материалов с керамическими покрытиями
				2	Увеличения осевых и радиальных зазоров лопаток проточной части ОК
				3	Изменения вида проточной части ОК
				4	Введения в проточную часть на 4...6 ступенях ОК сбросных клапанов
				5	Предварительный подогрев воздуха перед ОК
4	Применение силовой	1	Увеличить диапазон частоты вращения нагнетателя		

			турбины на независимом валу позволяет	2	Существенно увеличить КПД ГТУ
				3	Оптимизировать работу осевого компрессора
				4	Снизить тепловые нагрузки на камеру сгорания и сопловый аппарат турбины
				4	Утолщения стенки лопатки
		5	Увеличение эксплуатационного ресурса работы лопаток турбины возможно вследствие	1	Утолщения стенки лопатки
				2	Разбавления продуктов сгорания вторичным воздухом на выходе из КС
				3	Увеличения ступеней турбины
				4	Использование в одной технологической схеме ТВД, ТНД и независимой силовой турбины
		6	Введение в схему ГТУ регенератора	1	Повышает ее экономичность
				2	Снижает тепловые нагрузки на отдельные элементы ГТУ
				3	Увеличивает эксплуатационный срок
				4	Сокращает количество выбросов вредных веществ в атмосферу
		7	Применение ГТУ со ступенчатым сжатием (с промежуточным охлаждением)	1	Снизить затрачиваемую работу на сжатие воздуха в компрессоре
				2	Увеличить работу, получаемую при расширении рабочего тела
				3	Повысить единичную мощность ГТУ за счет изменение массового расхода рабочего тела
				4	Регулировать мощность ГТУ при частичных нагрузках
		8	Увеличение температуры сжатого воздуха на входе в камеру сгорания выше 150°C приводит к	1	Увеличению производительности камеры сгорания
				2	Увеличению количества оксидов азота в составе выбросов
				3	Увеличению мощности, полученной на независимом валу силовой турбины
		9	Достоинства одновального ГТУ	1	Простота, высокий КПД,
2	Простота, дешевизна				
3	Высокий КПД, меньшие тепловые потери				

13	Защита практической работы №4 Расчет тепловой схемы простой ГТУ без охлаждения газовой турбины	Вопросы:	Задание:																																																																																									
		<ol style="list-style-type: none"> 1. Что является исходными величинами при расчете тепловой схемы простой ГТУ (без учета охлаждения деталей газовой турбины)? 2. Порядок расчета тепловой схемы ГТУ. 3. Уравнение теплового баланса камеры сгорания. 4. Объемная доля воздуха в продуктах сгорания. 5. Определение средней теплоемкости газа в процессе расширения. 6. Что необходимо знать, чтобы найти энтальпию газа за турбиной? 7. Как можно вычислить температуру газа Td за турбиной? 8. Как можно определить энтальпию чистых продуктов сгорания? 9. Определение параметров процесса сжатия 	<p>Провести расчет тепловой схемы простой ГТУ без охлаждения газовой турбины, исходя из условий:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>№ вар.</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N_s</td> <td>110</td> <td>90</td> <td>100</td> <td>110</td> <td>90</td> <td>110</td> </tr> <tr> <td>t_c</td> <td>1200</td> <td>1100</td> <td>1150</td> <td>1300</td> <td>1200</td> <td>1250</td> </tr> <tr> <td>t_a</td> <td>18</td> <td>25</td> <td>20</td> <td>22</td> <td>18</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>\mathcal{E}</td> <td>15</td> <td>14</td> <td>16</td> <td>15</td> <td>14</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>λ</td> <td>0,90</td> <td>0,95</td> <td>0,92</td> <td>0,95</td> <td>0,90</td> <td>0,92</td> </tr> <tr> <td>$\eta_{к.с.}$</td> <td>0,996</td> <td>0,980</td> <td>0,995</td> <td>0,985</td> <td>0,980</td> <td>0,995</td> </tr> <tr> <td>η_m</td> <td>0,996</td> <td>0,995</td> <td>0,994</td> <td>0,993</td> <td>0,995</td> <td>0,996</td> </tr> <tr> <td>$\eta_{э.г.}$</td> <td>0,982</td> <td>0,985</td> <td>0,980</td> <td>0,984</td> <td>0,983</td> <td>0,982</td> </tr> <tr> <td>Q_p^H</td> <td colspan="6">44300</td> </tr> <tr> <td>η_r</td> <td>0,88</td> <td>0,92</td> <td>0,86</td> <td>0,97</td> <td>0,88</td> <td>0,87</td> </tr> <tr> <td>η_k</td> <td>0,90</td> <td>0,86</td> <td>0,88</td> <td>0,89</td> <td>0,90</td> <td>0,87</td> </tr> <tr> <td>α_v</td> <td>0,005</td> <td>0,010</td> <td>0,015</td> <td>0,020</td> <td>0,010</td> <td>0,015</td> </tr> </tbody> </table>	№ вар.	1	2	3	4	5	6	N_s	110	90	100	110	90	110	t_c	1200	1100	1150	1300	1200	1250	t_a	18	25	20	22	18	15	\mathcal{E}	15	14	16	15	14	16	λ	0,90	0,95	0,92	0,95	0,90	0,92	$\eta_{к.с.}$	0,996	0,980	0,995	0,985	0,980	0,995	η_m	0,996	0,995	0,994	0,993	0,995	0,996	$\eta_{э.г.}$	0,982	0,985	0,980	0,984	0,983	0,982	Q_p^H	44300						η_r	0,88	0,92	0,86	0,97	0,88	0,87	η_k	0,90	0,86	0,88	0,89	0,90	0,87	α_v	0,005	0,010	0,015	0,020
№ вар.	1	2	3	4	5	6																																																																																						
N_s	110	90	100	110	90	110																																																																																						
t_c	1200	1100	1150	1300	1200	1250																																																																																						
t_a	18	25	20	22	18	15																																																																																						
\mathcal{E}	15	14	16	15	14	16																																																																																						
λ	0,90	0,95	0,92	0,95	0,90	0,92																																																																																						
$\eta_{к.с.}$	0,996	0,980	0,995	0,985	0,980	0,995																																																																																						
η_m	0,996	0,995	0,994	0,993	0,995	0,996																																																																																						
$\eta_{э.г.}$	0,982	0,985	0,980	0,984	0,983	0,982																																																																																						
Q_p^H	44300																																																																																											
η_r	0,88	0,92	0,86	0,97	0,88	0,87																																																																																						
η_k	0,90	0,86	0,88	0,89	0,90	0,87																																																																																						
α_v	0,005	0,010	0,015	0,020	0,010	0,015																																																																																						

		воздуха в компрессоре $c_{рв}$ и $m_{в}$?	
14	<p>Защита лабораторной работы №7 Обеспечение безаварийной эксплуатации элементов ГТУ</p>	<p>Вопросы:</p>	
<p>Вариант 1</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Как обеспечить безаварийную эксплуатацию ОК 2. Назовите и объясните основные конструктивные особенности КС. 3. Достоинства и недостатки указанного типа КС. 			
<p>Вариант 2.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Укажите классификации КС. 2. Охарактеризуйте центробежный компрессор, представленный на рисунке. Укажите достоинства и недостатки. 3. Опишите и охарактеризуйте требования, предъявляемые к турбинам ГТУ. 			
<p>Вариант 3</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Причины возникновения помпажных явлений? 2. Опишите принцип работы указанного на рисунке элемента ГТУ. 3. От чего образуются дефекты по переходным патрубкам камеры сгорания . 			
<p>Вариант 4</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Распишите схему и принцип работы осевого компрессора 2. От чего зависит Эффективный КПД турбины. 3. Дефекты по горелочным устройствам КС и сопловому аппарату турбины 			
<p>Вариант 5</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Проскок и отрыв пламени в КС. Причины данных явлений и последствия к которым они приводят 2. От чего зависит образование трещин в околосшовной зоне сварного стыка крышки жаровой трубы и как устранить это явление? 3. Комплекс мероприятий для предотвращения помпажа. 			
<p>Вариант 6</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Какие явления отражены на рисунке? Назовите причины таких явлений? 2. Пути повышения безопасной эксплуатации КС. 3. Схема кольцевой камеры сгорания и ее принцип работы. Достоинства и недостатки. 			
<p>Вариант 7</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Что предусмотрено в конструкции ГТУ для предотвращения возникновения вибраций? 2. Охарактеризуйте указанный на рисунке вид проточной части ОК. 3. Низкоэмиссионные камеры сгорания. Принципы работы. 			
<p>Вариант 8</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Полная классификация КС. 2. От чего образуется отложение сажи на внутреннем конусе КС и как эти явления устранить?. 3. Охарактеризуйте вид проточной части компрессора с указанием достоинств и недостатков и вероятность развития осложняющих процессов при эксплуатации.. 			

		Вариант 9 1. Что называется центробежным компрессором. Достоинства и недостатки. 2. Охарактеризуйте вид КС с указанием достоинств и недостатков. 3. Осложняющие процессы в турбине																																																																	
15	Защита практической работы №5 Расчет тепловой схемы простой ГТУ с охлаждением газовой турбины	Вопросы: 1. Как рассчитать относительный расход воздуха на охлаждение? 2. Вычисление температуры газов после первой ступени по приближенной зависимости. 3. Определение удельной работы неохлаждаемой турбины. 4. Расчет внутренней работы ГТУ с охлаждаемой турбиной. 5. Определение механического КПД ГТУ с охлаждением газовой турбины. 6. Определение расхода воздуха на входе в камеру сгорания. 7. От чего зависит расход воздуха на входе в компрессор? 8. Что влияет на расход газов на выходе из турбины? 9. Приведите пример схемы простейшей ГТУ со сгоранием топлива при $p = \text{const}$	Задание Рассчитать основные характеристики простой ГТУ с охлаждением газовой турбины, приняв исходные данные (по удельной изобарической теплоемкости и энтальпии сухого воздуха) и используя результаты расчета тепловой схемы ГТУ без охлаждения (по удельной изобарической теплоемкости и энтальпии продуктов сгорания углеводородного топлива (85 % углерода и 15 % водорода)). Сделать выводы влияния охлаждения на КПД ГТУ с охлаждаемой газовой турбиной в сравнении с ГТУ без охлаждения																																																																
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>№ вар.</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>Размерность</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N_3</td> <td>110</td> <td>90</td> <td>100</td> <td>110</td> <td>90</td> <td>110</td> <td>МВт</td> </tr> <tr> <td>t_c</td> <td>1200</td> <td>1100</td> <td>1150</td> <td>1300</td> <td>1200</td> <td>1250</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>η_m</td> <td>0,996</td> <td>0,995</td> <td>0,994</td> <td>0,993</td> <td>0,995</td> <td>0,996</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$\eta_{э.г.}$</td> <td>0,982</td> <td>0,985</td> <td>0,980</td> <td>0,984</td> <td>0,983</td> <td>0,982</td> <td></td> </tr> <tr> <td>z</td> <td colspan="6">4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>v_n</td> <td>0,5</td> <td>0,6</td> <td>0,7</td> <td>0,5</td> <td>0,6</td> <td>0,7</td> <td></td> </tr> <tr> <td>t_w</td> <td>850</td> <td>800</td> <td>850</td> <td>850</td> <td>850</td> <td>850</td> <td>°C</td> </tr> </tbody> </table>	№ вар.	1	2	3	4	5	6	Размерность	N_3	110	90	100	110	90	110	МВт	t_c	1200	1100	1150	1300	1200	1250	°C	η_m	0,996	0,995	0,994	0,993	0,995	0,996		$\eta_{э.г.}$	0,982	0,985	0,980	0,984	0,983	0,982		z	4							v_n	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7		t_w	850	800	850	850	850	850	°C
№ вар.	1	2	3	4	5	6	Размерность																																																												
N_3	110	90	100	110	90	110	МВт																																																												
t_c	1200	1100	1150	1300	1200	1250	°C																																																												
η_m	0,996	0,995	0,994	0,993	0,995	0,996																																																													
$\eta_{э.г.}$	0,982	0,985	0,980	0,984	0,983	0,982																																																													
z	4																																																																		
v_n	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7																																																													
t_w	850	800	850	850	850	850	°C																																																												
16	Защита лабораторной работы №8- №11 Методические указания по проведению теплотехнических испытаний Г ГПА-10 с нагнетателем Н-370 и Н-235 в условиях компрессорной станции	Вопросы: 1. Термины и определения. 2. Методика подготовки к испытаниям. 3. Методика проведения испытаний. 4. Методика расчета показателей ГПА. 5. Обработка и анализ полученных результатов. 6. Оформление документации. 7. Техника безопасности. 8. Схемы измерений 9. Алгоритм обработки результатов теплотехнических испытаний.																																																																	
17	Защита практической работы №6 Расчет цикла газотурбинной установки с регенерацией тепла	Вопросы: 1. Термический КПД цикла турбины с подводом теплоты при $p = \text{const}$ с предельной полной регенерацией и адиабатным сжатием. 2. Термический КПД цикла турбины с подводом теплоты при $v = \text{const}$ с	Задание Определить термический КПД цикла. Определить экономию от введения регенерации																																																																
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>№ вариант а</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>Ед. изм.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>t_f</td> <td>25</td> <td>18</td> <td>30</td> <td>20</td> <td>22</td> <td>25</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>λ</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>4</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	№ вариант а	1	2	3	4	5	6	Ед. изм.	t_f	25	18	30	20	22	25	°C	λ	5	6	4	5	6	4																																									
№ вариант а	1	2	3	4	5	6	Ед. изм.																																																												
t_f	25	18	30	20	22	25	°C																																																												
λ	5	6	4	5	6	4																																																													

		<p>предельной регенерацией и адиабатным сжатием.</p> <p>3. Термический КПД цикла турбины с подводом теплоты при $p = \text{const}$ без регенерации.</p> <p>4. Принципиальная схема газотурбинной установки, работающей с подводом теплоты при $p = \text{const}$ и с полной регенерацией тепла.</p>	<table border="1"> <tr> <td>t_5</td> <td>420</td> <td>400</td> <td>375</td> <td>450</td> <td>420</td> <td>400</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="2">k</td> <td colspan="4">1,4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Подвод тепла при</td> <td>$p = \text{const}$</td> <td>$v = \text{const}$</td> <td>$p = \text{const}$</td> <td>$v = \text{const}$</td> <td>$p = \text{const}$</td> <td>$v = \text{const}$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ε</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>4,5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>7,5</td> <td></td> </tr> </table>	t_5	420	400	375	450	420	400	°C		k		1,4					Подвод тепла при	$p = \text{const}$	$v = \text{const}$	$p = \text{const}$	$v = \text{const}$	$p = \text{const}$	$v = \text{const}$		ε	4	5	4,5	6	7	7,5																																																																																						
t_5	420	400	375	450	420	400	°C																																																																																																																	
	k		1,4																																																																																																																					
Подвод тепла при	$p = \text{const}$	$v = \text{const}$	$p = \text{const}$	$v = \text{const}$	$p = \text{const}$	$v = \text{const}$																																																																																																																		
ε	4	5	4,5	6	7	7,5																																																																																																																		
19	<p>Защита практической работы №7 Расчет показателей центробежного нагнетателя Н 235-24-1 . Часть 1</p>	<p>Задание</p> <p>Определить основные показатели центробежного нагнетателя Н 235-24-1:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Наименование параметра</th> <th>Обозначение</th> <th>Размерность</th> <th>Величина</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Барометрическое давление</td> <td>B</td> <td>Мпа</td> <td>0,101325</td> </tr> <tr> <td>Температура воздуха на входе в ГТУ</td> <td>t</td> <td>°C</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Давление атмосферное</td> <td rowspan="2">H</td> <td>кПа</td> <td>102,3</td> </tr> <tr> <td>кг/см²</td> <td>1,015</td> </tr> <tr> <td>Теплота сгорания низшая за планируемый период</td> <td>$Q_{M_0}^H$</td> <td>ккал/м³</td> <td>8078</td> </tr> <tr> <td>Плотность газа (при 20 °C и 0,1013 Мпа)</td> <td>ρ_0</td> <td>кг/м³</td> <td>0,68</td> </tr> <tr> <td>Давление газа на входе в нагнетатель</td> <td>P_{1_n}</td> <td>Мпа</td> <td>3,806</td> </tr> <tr> <td>Давление газа на выходе из нагнетателя</td> <td>P_{2_n}</td> <td>Мпа</td> <td>5,493</td> </tr> <tr> <td>Температура газа на входе в нагнетатель</td> <td>t_{1_n}</td> <td>°C</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>Температура газа на выходе из нагнетателя</td> <td>t_{2_n}</td> <td>°C</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Перепад давлений на конфузоре нагнетателя</td> <td>ΔP_k</td> <td>кг/м²</td> <td>4000</td> </tr> <tr> <td>Частота вращения ротора ЦБН</td> <td>n_{CT}</td> <td>об/мин</td> <td>4800</td> </tr> <tr> <td>Коэффициент сжимаемости на входе в нагнетатель</td> <td>Z_{1_n}</td> <td>–</td> <td>0,888</td> </tr> <tr> <td>Коэффициент сжимаемости на выходе из нагнетателя</td> <td>Z_{2_n}</td> <td>–</td> <td>0,888</td> </tr> <tr> <td>Средний расход топливного газа</td> <td>q_{mz}</td> <td>м³/ч</td> <td>4460</td> </tr> <tr> <td>№ Варианта</td> <td>t, °C</td> <td>P_{1_n}, МПа</td> <td>P_{2_n}, МПа</td> <td>t_{1_n}, °C</td> <td>t_{2_n}, °C</td> <td>ΔP_k, кг/м²</td> <td>n_{CT}, об/мин</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>7,3</td> <td>3,299</td> <td>5,035</td> <td>9,7</td> <td>44,9</td> <td>2040</td> <td>4800</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>19</td> <td>3,651</td> <td>5,068</td> <td>10,7</td> <td>37,67</td> <td>2250</td> <td>4300</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>19</td> <td>3,688</td> <td>5,043</td> <td>10,7</td> <td>37,7</td> <td>2200</td> <td>4103</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>17</td> <td>3,847</td> <td>4,936</td> <td>3</td> <td>25</td> <td>4000</td> <td>4000</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>17</td> <td>3,798</td> <td>5,122</td> <td>3</td> <td>30</td> <td>4000</td> <td>4000</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>17</td> <td>3,769</td> <td>5,142</td> <td>3</td> <td>32</td> <td>4000</td> <td>4000</td> </tr> </tbody> </table>	Наименование параметра	Обозначение	Размерность	Величина	Барометрическое давление	B	Мпа	0,101325	Температура воздуха на входе в ГТУ	t	°C	15	Давление атмосферное	H	кПа	102,3	кг/см ²	1,015	Теплота сгорания низшая за планируемый период	$Q_{M_0}^H$	ккал/м ³	8078	Плотность газа (при 20 °C и 0,1013 Мпа)	ρ_0	кг/м ³	0,68	Давление газа на входе в нагнетатель	P_{1_n}	Мпа	3,806	Давление газа на выходе из нагнетателя	P_{2_n}	Мпа	5,493	Температура газа на входе в нагнетатель	t_{1_n}	°C	15	Температура газа на выходе из нагнетателя	t_{2_n}	°C	50	Перепад давлений на конфузоре нагнетателя	ΔP_k	кг/м ²	4000	Частота вращения ротора ЦБН	n_{CT}	об/мин	4800	Коэффициент сжимаемости на входе в нагнетатель	Z_{1_n}	–	0,888	Коэффициент сжимаемости на выходе из нагнетателя	Z_{2_n}	–	0,888	Средний расход топливного газа	q_{mz}	м ³ /ч	4460	№ Варианта	t , °C	P_{1_n} , МПа	P_{2_n} , МПа	t_{1_n} , °C	t_{2_n} , °C	ΔP_k , кг/м ²	n_{CT} , об/мин	1	7,3	3,299	5,035	9,7	44,9	2040	4800	2	19	3,651	5,068	10,7	37,67	2250	4300	3	19	3,688	5,043	10,7	37,7	2200	4103	4	17	3,847	4,936	3	25	4000	4000	5	17	3,798	5,122	3	30	4000	4000	6	17	3,769	5,142	3	32	4000	4000
Наименование параметра	Обозначение	Размерность	Величина																																																																																																																					
Барометрическое давление	B	Мпа	0,101325																																																																																																																					
Температура воздуха на входе в ГТУ	t	°C	15																																																																																																																					
Давление атмосферное	H	кПа	102,3																																																																																																																					
		кг/см ²	1,015																																																																																																																					
Теплота сгорания низшая за планируемый период	$Q_{M_0}^H$	ккал/м ³	8078																																																																																																																					
Плотность газа (при 20 °C и 0,1013 Мпа)	ρ_0	кг/м ³	0,68																																																																																																																					
Давление газа на входе в нагнетатель	P_{1_n}	Мпа	3,806																																																																																																																					
Давление газа на выходе из нагнетателя	P_{2_n}	Мпа	5,493																																																																																																																					
Температура газа на входе в нагнетатель	t_{1_n}	°C	15																																																																																																																					
Температура газа на выходе из нагнетателя	t_{2_n}	°C	50																																																																																																																					
Перепад давлений на конфузоре нагнетателя	ΔP_k	кг/м ²	4000																																																																																																																					
Частота вращения ротора ЦБН	n_{CT}	об/мин	4800																																																																																																																					
Коэффициент сжимаемости на входе в нагнетатель	Z_{1_n}	–	0,888																																																																																																																					
Коэффициент сжимаемости на выходе из нагнетателя	Z_{2_n}	–	0,888																																																																																																																					
Средний расход топливного газа	q_{mz}	м ³ /ч	4460																																																																																																																					
№ Варианта	t , °C	P_{1_n} , МПа	P_{2_n} , МПа	t_{1_n} , °C	t_{2_n} , °C	ΔP_k , кг/м ²	n_{CT} , об/мин																																																																																																																	
1	7,3	3,299	5,035	9,7	44,9	2040	4800																																																																																																																	
2	19	3,651	5,068	10,7	37,67	2250	4300																																																																																																																	
3	19	3,688	5,043	10,7	37,7	2200	4103																																																																																																																	
4	17	3,847	4,936	3	25	4000	4000																																																																																																																	
5	17	3,798	5,122	3	30	4000	4000																																																																																																																	
6	17	3,769	5,142	3	32	4000	4000																																																																																																																	

Раздел 3. Повышение экономичности и эффективности ГТУ

22	Защита практической работы №8 Расчет показателей центробежного нагнетателя Н 235-24-1. Часть 2.	<p>Вопросы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Отношение давлений центробежного нагнетателя. 2. Политропный коэффициент полезного действия центробежного нагнетателя; 3. Внутренняя мощность центробежного нагнетателя. 4. Политропный напор. 5. Полный напор. 6. Объемный расход газа на входе в центробежный нагнетатель. 7. Массовый расход компримируемого газа. 8. Перепад давлений на конфузоре нагнетателя. 9. Частота вращения ротора ЦБН. 																																																																
23	Защита лабораторной работы №12 Дефекты элементов ГТУ	<p>Вопросы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Какие дефекты характерны для ОК ГТУ и способы контроля и устранения. 2. Какие дефекты характерны для КС ГТУ и способы контроля и устранения. 3. Какие дефекты характерны для Турбин ГТУ и способы контроля и устранения. 4. Какие дефекты характерны для выхлопного тракта ГТУ и способы контроля и устранения. 5. Нормативно-техническое требования для периодичности и способов обследования ГТУ. 6. Контроль выбросов вредных веществ в атмосферу при эксплуатации ГТУ. 7. Промывка ОК. 8. Причины вибрации лопаток ГТУ. 9. Помпаж ОК 																																																																
24	Контрольная работа №2	<p align="center">Теоретический раздел</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Какие типы камер сгорания используются в ГТУ с подводом теплоты при постоянном давлении и с подводом теплоты при постоянном объеме? 2. Опишите основные элементы газотурбинного двигателя, их характеристики, термодинамические процессы, протекающие в них, используя видеофайлы «Газотурбинный двигатель» (на примере ГТД-110) и «Макет двигателя». 3. Что такое энергия термодинамической системы. 4. Что такое критическое давление и методы его расчета. 5. Что такое критическая скорость и методы ее расчета. 6. Опишите типы камер сгорания. 7. Опишите типы компрессоров ГТУ. 8. Как реализован принцип низкой эмиссии в конструктивных элементах камер сгорания. 9. Лопатки турбин. 	<p align="center">Практический раздел</p> <p>Определить мольную массу, элементарный состав газа, а также массовый расход воздуха для окисления 1 кг (1 м3) сжигаемого топлива следующего состава. Рассчитать L_0 по эмпирическому уравнению Вельтера-Бертье-Коновалова при граничных состояниях и сравнить полученные значения</p> <table border="1" data-bbox="1352 1066 2150 1417"> <thead> <tr> <th>№</th> <th>метан</th> <th>этан</th> <th>пропан</th> <th>бутан</th> <th>изо-бутан</th> <th>H2S</th> <th>N2</th> <th>CO2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>93.2</td> <td>4.8</td> <td>1</td> <td>0.4</td> <td>0.4</td> <td>0.05</td> <td>0.05</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>95.0</td> <td>4.0</td> <td>0.5</td> <td>0.44</td> <td>0</td> <td>0.01</td> <td>0.02</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>90.1</td> <td>6.3</td> <td>2.1</td> <td>1</td> <td>0.46</td> <td>0.02</td> <td>0.01</td> <td>0.01</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>96.5</td> <td>3.15</td> <td>0.3</td> <td>0.02</td> <td>0.01</td> <td>0.005</td> <td>0.005</td> <td>0.01</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>85.5</td> <td>9.2</td> <td>4.639</td> <td>0.4</td> <td>0.04</td> <td>0.001</td> <td>0.02</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>79.4</td> <td>14.8</td> <td>3.5</td> <td>1.2</td> <td>0.3</td> <td>0.2</td> <td>0.3</td> <td>0.3</td> </tr> </tbody> </table>	№	метан	этан	пропан	бутан	изо-бутан	H2S	N2	CO2	1	93.2	4.8	1	0.4	0.4	0.05	0.05	0.1	2	95.0	4.0	0.5	0.44	0	0.01	0.02	0.03	3	90.1	6.3	2.1	1	0.46	0.02	0.01	0.01	4	96.5	3.15	0.3	0.02	0.01	0.005	0.005	0.01	5	85.5	9.2	4.639	0.4	0.04	0.001	0.02	0.2	6	79.4	14.8	3.5	1.2	0.3	0.2	0.3	0.3
№	метан	этан	пропан	бутан	изо-бутан	H2S	N2	CO2																																																										
1	93.2	4.8	1	0.4	0.4	0.05	0.05	0.1																																																										
2	95.0	4.0	0.5	0.44	0	0.01	0.02	0.03																																																										
3	90.1	6.3	2.1	1	0.46	0.02	0.01	0.01																																																										
4	96.5	3.15	0.3	0.02	0.01	0.005	0.005	0.01																																																										
5	85.5	9.2	4.639	0.4	0.04	0.001	0.02	0.2																																																										
6	79.4	14.8	3.5	1.2	0.3	0.2	0.3	0.3																																																										

25	Презентации	<p>Темы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Опишите техническое решение, технические характеристики и приведите пример (на основе найденного материала с сайта завода изготовителя и ссылкой на этот сайт) технологической схемы ГТУ с промежуточным подогревом рабочего тела. 2. Опишите техническое решение и приведите пример (на основе найденного материала с сайта завода-изготовителя и ссылкой на этот сайт) технологической схемы ГТУ с промежуточным охлаждением рабочего тела. 3. Опишите техническое решение и приведите пример (на основе найденного материала с сайта завода-изготовителя и ссылкой на этот сайт) технологической схемы ГТУ с независимой силовой турбиной. 4. Опишите техническое решение и приведите пример (на основе найденного материала с сайта завода-изготовителя и ссылкой на этот сайт) технологической схемы ГТУ простого типа
----	-------------	--

5. Методические указания по процедуре оценивания

№	Оценочные мероприятия	Процедура проведения оценочного мероприятия и необходимые методические указания
1.	Опрос на лекциях	Опрос студентов проводится для оценки общего уровня компетенций, сформированных ранее при обучении в бакалавриате в рамках понимания первичных вопросов о нефтегазовых объектах. Общее количество лекций – 4, за активное участие в которых студент получает 1 балл (итого 4 балла)
2.	Защита практических работ	Защита практических работ проводится с использованием данных заданий и теоретического материала во время аудиторной и самостоятельной работы студентов. Студенты выполняют задание, оформляют в соответствии с требованиями, предъявляемыми к отчетным работам в НИ ТПУ и отвечают на вопросы преподавателя. Всего 8 ПР. При выполнении задания ПР и полном ответе на вопросы преподавателя за одно ИДЗ студент получает 2,5 балла (итого 20 баллов).
3.	Защита лабораторных работ	Защита лабораторных работ проводится во время аудиторной и самостоятельной работы студентов. Студенты выполняют задание, оформляют в соответствии с требованиями, предъявляемыми к отчетным работам в НИ ТПУ и отвечают на вопросы преподавателя. Всего 12 ЛБ. При выполнении ЛБ и полном ответе на вопросы преподавателя за 1 ЛБ студент получает 2,5 баллов (итого 30 баллов)
4.	Контрольные работы	Контрольные работы проводятся на практических занятиях в течение 15 минут. Всего 2 контрольные работы. При полном ответе студентов на все вопросы и решение задачи студент получает 10 баллов (итого 20 баллов). Студенты готовятся на основе лекционного, практического материалов и нормативно-технической документации.
5.	Тестирование	Тестирование проводится в начале лекций в течение 10 минут. Всего 1 тестирование (итого 6 баллов). Студенты готовятся на основе лекционного, практического материалов и нормативно-технической документации.
6.	Презентация	Подготовка и защита Презентации по заданной тематике является инструментом, позволяющим в конце теоретического обучения в период проведения 2-ой конференц-недели получить 20 баллов .
7.	Зачет	Зачет выставляют при условии набора студентом необходимых баллов после подведения итога рейтинговой оценки по дисциплине в целом.

