

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 25.10.2025 11:15:02
Уникальный идентификатор:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ



Декан факультета

Урбанистики и городского хозяйства

/ Л.А. Марюшин /

« 31 » августа 2020 г.

Рабочая программа дисциплины

«Газотурбинные установки»

Направление подготовки
21.03.01 «Нефтегазовое дело»

Профиль
**«Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти,
газа и продуктов переработки»**

Квалификация (степень) выпускника
Бакалавр

Форма обучения
Очная

Москва 2020

1. Цели освоения дисциплины

К **основным целям** освоения дисциплины «Газотурбинные установки» следует отнести:

- формирование у студентов системы знаний о теоретических основах, конструктивных и технологических особенностях ГТУ;

- обучение студентов знаниям в области материального облика газотурбинных установок и его отличиях в зависимости от назначения и условий эксплуатации:

- подготовка к решению практических задач, связанных с обеспечением надежной эксплуатации газотурбинных установок в составе компрессорных станций (КС) магистральных газопроводов, проектированием и расчетом газоперекачивающих агрегатов (ГПА), реализацией технологических процессов, ремонтом ГТУ и т.д.

Основные задачи освоения дисциплины «Газотурбинные установки» состоят в следующем:

Студенты должны понять и усвоить основы теории газотурбинных установок, их роль в обеспечении энергией и теплом потребителей, включая экспортные поставки.

Значительное внимание должно быть уделено изучению основных элементов ГТУ: вентилятора, компрессора, камеры сгорания, турбины - их назначению и принципам действия. Одной из важных задач курса является изучение инновационных технологий, реализуемых при производстве современных ГТУ, в т.ч. литье охлаждаемых лопаток турбин с монокристалльной структурой, гранулярная металлургия, теплозащитные покрытия, глубинное шлифование, лазерные, электрохимические технологии и др.

Итоговым результатом изучения курса является овладение студентами методами термодинамического расчета тепловых двигателей, оценки их теплового баланса, а также контроля основных параметров и тепловых режимов работы.

Студенты должны быть знакомы также с проблемами охраны окружающей среды при изготовлении и эксплуатации силовых установок.

2. Место дисциплины в структуре ОП бакалавриата

Учебная дисциплина «Газотурбинные установки» относится к базовой части профессионального цикла дисциплин. Она помогает выпускнику овладеть пониманием целей и задач курса, их роли в обеспечении энергией потребителей внутри государства и за рубежом.

Курс «Газотурбинные установки» базируется на знаниях, полученных при предыдущем изучении дисциплин и профессионального цикла Б1, Б2, Б3: «Физика», «Химия», «Математика», «Теоретическая механика», «Теплотехника», «Сопротивление материалов», «Материаловедение», «Детали машин и основы конструирования», «Технология конструкционных материалов» и др.

В целом изучение дисциплины направлено на подготовку выпускника в соответствии с квалификационными требованиями, установленными государственным образовательным стандартом.

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения дисциплины (модуля) у обучающихся формируются следующие компетенции и должны быть достигнуты следующие результаты обучения как этап формирования следующих компетенций:

Код компетенции	В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
1	2	3
ПК-1	Способностью применять процессный подход в практической деятельности, сочетать теорию и практику.	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • оборудование для трубопроводного транспорта нефти и газа; • научные основы, принципиальные схемы и рабочие циклы газотурбинных установок. Основные типы и особенности отечественных и зарубежных ГТУ, ведущие фирмы и производители установок. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • разрабатывать технические требования и технические условия для эксплуатации газоперекачивающих

		<p>установок.</p> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основами эксплуатации и ремонта ГТУ.
ПК-9	<p>Способностью осуществлять оперативный контроль за техническим состоянием технологического оборудования, используемого при строительстве, ремонте, реконструкции и восстановлении нефтяных и газовых скважин, добычи нефти и газа, сборе и подготовке скважинной продукции, транспорта и хранении углеводородного сырья.</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основы теории надежности машин и механизмов, методы и средства технической диагностики; • систему обеспечения безопасности, жизнедеятельности нефтегазового производства. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • разрабатывать и оптимизировать технологические процессы с позиций наиболее высокой степени надежности и одновременно высокой эффективности. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • методами регистрации и контроля технологических процессов, основными положениями действующего законодательства РФ об охране труда промышленной и экологической безопасности.
ПК-10	<p>Способностью участвовать в исследовании технологических процессов, совершенствовании технологического оборудования и реконструкции производства.</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • связь применяемых в газотурбостроении технологических процессов производства с коэффициентом использования материалов. Влияние используемых технологий и продуктов сгорания топлива в ГТУ на окружающую среду. <p>Уметь:</p>

		<ul style="list-style-type: none"> • выбирать технологические процессы и организовывать высокоэффективные малоотходные производства. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основами современного оборудования, умением оценить и обосновать его применение методами выбора рационального способа снижения вредного воздействия на окружающую среду.
ПК-14	<p>Способностью проводить диагностику, текущий и капитальный ремонт технологического оборудования, используемого при строительстве, ремонте, реконструкции и восстановлении нефтяных и газовых скважин, добыче нефти и газа, сборе и подготовке скважинной продукции, транспорте и хранении углеводородного сырья.</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • технику и технологии трубопроводного транспорта нефти и газа; • основы технической диагностики и ремонта (включая разборку и сборку) газоперекачивающих агрегатов, их конструктивные особенности; технологические процессы нефтегазового производства. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • осуществлять диагностику оборудования, определять остаточную работоспособность его узлов; • эксплуатировать и обслуживать технологическое оборудование, используемое при трубопроводном транспорте нефти и газа. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • методами и технологиями восстановления и ремонта узлов и деталей оборудования,

		технологическими процессами, обеспечивающими повышение надежности систем технической, технологической и нормативной документацией.
ПК-25	Способностью использовать физико-математический аппарат для решения расчетно-аналитических задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности.	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основы документирования процессов планирования, организации и управления работой первичных производственных подразделений предприятий, осуществляющих трубопроводный транспорт нефти и газа; основные алгоритмы типовых численных методов решения математических задач. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • применять математические методы для решения типовых профессиональных задач; использовать современные образовательные и информационные технологии. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • статистической обработкой результатов экспериментов, методами составления отчетной документации, регламентированными методиками экспериментальных исследований.
ПК-26	Способностью выбирать и применять соответствующие методы моделирования	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • оборудование для трубопроводного транспорта нефти и газа;

	<p>физических, химических и технологических процессов.</p>	<p>математические методы решения профессиональных задач; методы и принципы компьютерного моделирования процессов, технологий и материалов.</p> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • применять математические методы для решения типовых профессиональных задач; осуществить технологические процессы трубопроводного транспорта нефти и газа. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • персональным компьютером.
--	--	--

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, т.е. 108 академических часов (из них 88 часов – самостоятельная работа студентов).

Разделы дисциплины «Газотурбинные установки» изучаются на пятом курсе (9^й семестр).

Структура и содержание дисциплины «Газотурбинные установки» по разделам и видам занятий представлены в приложении I.

Содержание разделов дисциплины

4.1 Тема 1

Назначение ГТУ. Принципиальные циклы и схемы газотурбинных установок.

Роль газотурбинных установок в технологических процессах транспорта, хранения и добычи газа. Объемы и перспективы применения ГТУ в магистральных газопроводах, других газотранспортных и энергетических системах. Принципиальные схемы и рабочие циклы газотурбинных установок.

Определение понятия газотурбинных установок, их отличие от паровых турбин и двигателей внутреннего сгорания. Происхождение термина «турбина».

Особенности ГТУ открытого типа. Принципиальные схемы ГТУ открытого типа. Основные элементы ГТУ: вентилятор, компрессор, камера сгорания, турбина - их назначение и принцип действия. Схема ГТУ с

регенерацией тепла отработанных газов. ГТУ с промежуточным отводом тепла при сжатии и промежуточным подводом тепла при расширении с регенерацией тепла.

ГТУ закрытого и полужакрытого типа. Изображение цикла преобразования энергии в ГТУ на диаграммах P-V и T-S. Установки парогазового типа и перспективы их развития.

4.2. Тема 2

Основы термодинамического расчета газотурбинных установок

Рассмотрение термодинамических процессов в ГТУ при использовании идеального газа, изобарического подвода и отвода тепла, адиабатических условий сжатия и расширения рабочего тела.

Круговой процесс превращения тепловой энергии в кинетическую в реальных газотурбинных двигателях. Особенности и параметры реальных газовых смесей (состав продуктов сгорания, влажность, вредные соединения, влияние на коррозию материала установок и т.д.).

Топлива для ГТУ и процессы их сжигания в камере сгорания. Устройство камер сгорания ГТУ. Тепловой баланс и расход воздуха при горении. Образование вредных выбросов в камерах сгорания и методы их снижения.

Удельная работа газа при расширении и сжатии. Понятие коэффициента полезного действия ГТУ. КПД ГТУ без регенерации и с учетом регенерации тепла отходящих газов. КПД и удельная работа действительного цикла ГТУ. Пути повышения эффективности ГТУ.

4.3 Тема 3

Осевые турбомашин

Основные конструктивные особенности осевых турбомашин, их принцип действия и характер протекающих рабочих процессов. Направляющие аппараты, рабочие колеса турбины и компрессора. Активная и реактивная ступени турбины. Особенности прохождения газового потока по тракту турбины, изменение давлений и скорости в сопловом аппарате и в рабочем колесе. Треугольники скоростей в активной и реактивной ступенях турбины, понятия степени реактивности. Одноступенчатые и многоступенчатые турбины.

Конструкции лопаток турбин и их совершенствование в двигателях различных поколений.

Осевые компрессоры. Процессы, протекающие в межлопаточных каналах

компрессора и их отличие от процессов прохождения газов в турбине. Силы, действующие на лопатки ступени компрессора; треугольники скоростей воздушного потока в рабочем колесе и направляющем аппарате компрессора. Удельная работа ступени турбины и компрессора. Потери энергии в турбине и компрессоре. КПД турбины и компрессора. Характеристики компрессоров. Определение числа ступеней и основных размеров компрессоров.

4.4 Тема 4.

Эксплуатационные характеристики ГТУ при работе на газопроводах.

Циклическая (сезонная, суточная, недельная и др.) неравномерность подачи газа и способы ее осуществления. Методы регулирования мощности и экономичности газотурбинных установок при частичных нагрузках.

Расход газа через компрессор и турбину при изменении параметров рабочего тела.

Экономичность при различных способах регулирования. Особенности характеристик осевого компрессора и газовой турбины. Основы построения совмещенных характеристик турбины и компрессора, определяющих эффективность работы ГТУ.

Зона допустимых режимов работы ГТУ и причины, определяющие границы их существования.

Помпаж осевых компрессоров и центробежных нагнетателей, причины его возникновения и методы предотвращения.

4.5 Тема 5

Конструкции ГТУ

Роторы, их изготовление и балансировка.

Компрессоры, их конструктивные особенности. Диски и лопатки компрессоров.

Камеры сгорания ГТУ, их конструктивные особенности и принципы работы. Назначение камеры сгорания (КС). Выносные и встроенные КС. Обеспечение устойчивости горения топлива. Понятие объемной теплонапряженности КС. Материальный и тепловой баланс камеры сгорания. Теплотворная способность топлива.

Топлива для ГТУ, их физико-химические характеристики.

Вредные выбросы при сжигании топлива в КС ГТУ.

Влияние условий горения топлива в камере сгорания на образование вредных соединений.

Методы снижения выбросов загрязняющих веществ при работе КС.

Газовые турбины и их конструктивные различия. Требования, предъявляемые к турбинам. Сопловые и рабочие охлаждаемые лопатки газовых турбин.

Диски газовых турбин.

Подшипники и их маслообеспечение.

4.6 Тема 6

Материалы и технологии газотурбинных установок

Оптимальные температурные интервалы использования различных материалов, сплавов и сталей в условиях эксплуатации ГТУ.

Входное устройство ГТУ и материалы, используемые для его изготовления.

Особенности работы компрессора и реализуемые при его производстве материалы.

Материалы камер сгорания и предъявляемые к ним требования.

Жаропрочные сплавы и стали для дисков газовых турбин.

Материалы сопловых и рабочих лопаток ГТУ.

Материалы для валов ГТУ.

Физико-химические и структурные факторы, обеспечивающие высокую работоспособность алюминиевых, титановых, жаропрочных никелевых сплавов и сталей в условиях эксплуатации ГТУ.

Материальный облик ГТУ, выпускаемых предприятиями энергетического машиностроения. Его особенности и технико-экономические факторы, определяющие используемую группу материалов.

Комплекс материалов ГТУ, созданных на базе авиационных и судовых двигателей, экономический анализ связи ресурса - затрат на производство - расходов в процессе эксплуатации.

Перспективные материалы в ГТУ: материалы с наноструктурой, композиционные, на основе интерметаллидов, керамики и др.

Основные технологии ГТУ

Механообработка и пути ее совершенствования. Специализированное механообрабатывающее оборудование и технологии для:

- производства лопаток;
- изготовления дисков;
- нарезания замков лопаток и пазов в дисках компрессоров и

турбин;

- инструментальные материалы.

Электрофизические методы обработки.

Технологии заготовительного производства:

- современные металлургические процессы для производства слитков;
- процессы изотермической деформации при изготовлении заготовок дисков, валов, лопаток и кольцевых деталей;
- гранульная металлургия и газостатическое уплотнение деталей;
- фасонное литье деталей ГТУ;
- точное литье лопаток с равноосной и монокристалльной структурой;
- сварка и пайка;
- технологии защитных покрытий;
- технологии деталей из композиционных материалов.

5. Образовательные технологии

Организация занятий по дисциплине «Газотурбинные установки» проводится по традиционной технологии по видам работ (мультимедийные лекции, практические занятия, лабораторные работы, текущий контроль) согласно расписанию.

Методика преподавания дисциплины «Газотурбинные установки» и реализация компетентного подхода в изложении и восприятии материала предусматривает использование следующих активных и интерактивных форм проведения групповых, индивидуальных, аудиторных занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся:

- подготовка к выполнению практических и лабораторных работ в лабораториях вуза;
- защита и индивидуальное обсуждение курсовой работы;
- подготовка, представление и обсуждение презентаций на семинарских занятиях;
- использование интерактивных форм обучения и текущего контроля в форме аудиторного бланкового и (или) компьютерного тестирования;
- демонстрация видеофильмов, показывающих принципиальные схемы и оборудование головных и перекачивающих компрессорных станций, устройство и принципы работы серийных газоперекачивающих агрегатов;

- проведение мастер-классов экспертов и специалистов по проектированию и производству ГТУ, методам и средствам измерений, испытаний и контроля.

Лекционные занятия проводятся с использованием слайдов, подготовленных преподавателем в программе Microsoft Power Point, при этом параллельно демонстрируются модели реальных деталей и узлов ГТУ.

Практические занятия проводятся в аудитории, а также на базовом предприятии и направлены на закрепление знаний путем рассмотрения и анализа лабораторных работ.

На базовом предприятии студенты должны ознакомиться с ГТУ на основе АЛЗ1Ф, АЛ21Ф-3.

При этом студентам предварительно рассказывают об особенностях этих ГТУ, регионах их применения.

Учащиеся знакомятся с отличиями условий эксплуатации при их работе на компрессорных станциях и обусловленными этими отличиями требованиями и характеристиками ГТУ, эксплуатируемых на газопроводах.

На испытательной станции студенты присутствуют при испытаниях ГТУ, знакомятся с оборудованием и приборами для измерения эксплуатационных характеристик.

Объем занятия - 2 часа.

При посещении сборочного цеха студентам демонстрируют все основные узлы ГТУ:

Входное устройство, корпуса и роторы компрессоров низкого и высокого давления, камеру сгорания, турбины высокого и низкого давления, валы, подшипники и т.д.

Объем занятия - 2 часа.

На головном материаловедческом и технологическом предприятии студенты знакомятся с металлургическим оборудованием для получения слитков и лопаток ГТД, а также с технологиями литья, сварки, деформации, механообработки и др.

Продолжительность занятия – 2 часа.

Лабораторные занятия проводятся бригадой студентов из 4-5 человек. Предусмотрено выполнение лабораторных работ по месту работы студента (изучение конструкции ГТУ и анализ ее работы при переменных режимах в производственных условиях).

Указания по их выполнению.

Тема № 1. В процессе выполнения лабораторной работы студенты знакомятся с основными узлами ГТУ - компрессором, камерой сгорания и турбиной.

Студенты присутствуют при запуске установки и, разделившись на три группы, производят измерения на трех режимах следующих параметров рабочего тела в компрессоре, камере сгорания и турбине:

- температуры газа (воздуха) на входе и выходе из узла;
- изменение давления газа при прохождении через каждый из этих узлов;
- расход газа.

Затем студенты обмениваются результатами измерений, и каждая группа рассчитывает величину термического КПД при работе ГТУ на одном из трех режимов.

Продолжительность занятия – 2 часа.

Тема № 2. В процессе выполнения работы студенты знакомятся с конструкцией и характером сжатия газа в осевом компрессоре.

Далее студенты производят оценку мощности, потребляемой компрессором, при трех различных режимах технологического процесса в условиях реализации термодинамических подходов, предусматривающих использование идеального газа, изобарический подвод и отвод тепла, адиабатическое сжатие и расширение рабочего тела:

- удельном расходе воздуха;
- температуре на входе и выходе из компрессора;
- относительном КПД осевого компрессора.

Продолжительность занятия – 2 часа.

Тема №4. При выполнении данной работы студенты знакомятся на стенде с характером прохождения воздушного потока в двигателе, образованием рабочей смеси в камере сгорания и его дальнейшим прохождением через турбину и газоперекачивающий компрессор. Производится расчет выделяемой мощности.

Продолжительность занятия – 1 час.

Тема №6. Студенты знакомятся с технологиями ГТУ, участвуют при отливке монокристалльных лопаток турбины из жаропрочных никелевых сплавов.

Продолжительность занятия – 1 час.

Самостоятельная работа по дисциплине включает:

- самоподготовку к учебным занятиям по конспектам, учебной литературе и с помощью электронных ресурсов;
- оформление отчетов по результатам лабораторных работ с выполнением необходимых расчетов и графических построений;
- выполнение курсовой работы.

Наиболее продвинутые в плане компьютерной грамотности студенты выполняют специальные задания по разработке фрагментов компьютерных

презентаций.

Возможна также организация «круглых столов» и встреч с представителями российских предприятий, производящих и эксплуатирующих ГТУ, а также проведение мастер-классов экспертов и специалистов отрасли.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, определен главной целью образовательной программы, особенностью контингента обучающихся и содержанием дисциплины «Газотурбинные установки» и в целом по дисциплине составляет 50% аудиторных занятий. Занятия лекционного типа составляют 33% от объема аудиторных занятий.

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

В соответствии с требованиями ФГОС ВО для аттестации обучающихся по дисциплине предусмотрены:

- курсовая работа;
- контрольные задания;
- тестирование;
- зачет.

6.1. Фонды оценочных средств для проведения текущей и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине «Газотурбинные установки»

Фонды оценочных средств для проведения текущей и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине «Газотурбинные установки» приведены в Приложении 2 к рабочей программе.

6.2. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

№п/п	№ раздела дисциплины	Методические указания по выполнению самостоятельной работы
1	Раздел 1	Чтение лекционного материала. Изучение основной и дополнительной литературы. Выполнение лабораторных работ.
2	Раздел 2	Чтение лекционного материала. Изучение основной и дополнительной литературы.

		Самостоятельное выполнение практических заданий и лабораторных работ.
3	Раздел 3	Чтение лекционного материала. Изучение основной и дополнительной литературы.
4	Раздел 4	Чтение лекционного материала. Изучение основной и дополнительной литературы. Самостоятельное выполнение практических заданий.
5	Раздел 5	Чтение лекционного материала. Изучение основной и дополнительной литературы. Самостоятельное выполнение практических заданий.
6	Раздел 6	Чтение лекционного материала. Изучение основной и дополнительной литературы. Выполнение и защита курсовой работы.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Б.П. Поршаков, А.А. Апостолов, А.Н. Козаченко, В.И. Никитин - «Газотурбинные установки на газопроводах». Издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа И.М. Губкина. Москва 2004 г.

2. В.А. Зрелов - «Отечественные газотурбинные двигатели. Основные параметры и конструктивные схемы». М.. Машиностроение, 2005 г.

3. В.А. Акимов, В.И. Бакулев, Р.И. Курзинер - «Теория и расчет воздушно-реактивных двигателей», под редакцией С.М. Шляхтенко. М., Машиностроение, 1987 г.

4. Б.С. Ревзин - «Газотурбинные, газоперекачивающие агрегаты». М.. Недра, 1986 г.

5. О.Ф. Муравченко и др. Принципы конвертирования газотурбинных двигателей авиационного и судового типа// Газотурбинные технологии. -\ 2002. -№5(20). -С. 20-24.

6. В.А. Щуровский Применение показателя стоимости жизненного цикла ГГУ// Газотурбинные технологии. - 2002. - № 5 (20). - С. 30-31.

7. О.Р. Орберг, В.Б. Сударев, В.В. Сударев, В.В. Кондратьев «Газотурбинный привод перспективных газоперекачивающих агрегатов// Газовая промышленность - 2005. - №3 - С. 58-61.

б) справочная и дополнительная литература:

8. «Основы проектирования турбин авиадвигателей», под ред. С.З. Копелева, М., «Машиностроение», 1988 г.

9. Энтони Л. Кей «История разработки и создания реактивных двигателей и газовых турбин в Германии (1930-1945)»

10. Б.Е. Патон, С.Т. Кишкин, А.В. Логунов. Б.А. Мовчан и др. «Жаропрочность литейных никелевых сплавов и защита их от окисления», Киев, Наукова думка, 1987.

11. Большая энциклопедия транспорта. М., «Машиностроение», 1995 г.

12. Щуровский В.А. Новое поколение ГТУ для магистральных газопроводов// Газотурбинные технологии. – 1999 - № 1 (1), - С. 8-13.

13. Будзуляк Б.В., Шайхутдинов А.З., Щуровский В.А. К вопросу о повышении эффективности транспортировки газа в России// Газотурбинные технологии. -2003. -№6 (27). -С. 2-4.

14. Богорадовский Г.И., Кореневский Л.Г., Шайдак Б.П., Юдович Б.И. Газотурбинный агрегат «Надежда»// Турбины и компрессоры. - 1997 - Вып. 3,4, - С. 4-7.

15. Коваленко А.В., Муравченко О.Ф., Бухолдин Ю.С. и др. Перспективы развития газотурбинного привода для компрессорных агрегатов и установок углеводородных газов// Газотурбинные технологии.-2003. - №2 (23). - С. 2-6.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Кафедра «Техника и технология горного и нефтегазового производства» МПУ, обеспечивающая преподавание дисциплины «Газотурбинные установки», располагает аудиториями и лабораторией на 50 посадочных мест. Все аудитории оснащены электронными проекторами. Лаборатория располагает оборудованием и приборами, необходимыми для проведения лабораторных работ.

Для организации образовательного процесса со студентами используется также материально-техническая база университета, обеспечивающая проведение всех видов лекционных, практических и лабораторных занятий. Преподаватели кафедры и студенты имеют возможность пользоваться компьютерными классами. Все компьютеры имеют выход в систему Интернет. Студенты и преподаватели имеют доступ к электронным образовательным ресурсам, размещенным в Интернете.

9. Методические рекомендации преподавателю

Данный раздел настоящей рабочей программы предназначен для начинающих преподавателей.

Дисциплина «Газотурбинные установки» является обязательной

дисциплиной базовой части учебного плана и обеспечивает формирования профессиональных компетенций.

Структура и последовательность проведения лекционных занятий и практических занятий по дисциплине представлена в приложении 1 к настоящей рабочей программе.

Подробное содержание отдельных разделов дисциплины «Газотурбинные установки» рассматривается в п. 4 рабочей программы.

Базовая тематика лабораторных работ по дисциплине «Газотурбинные установки» представлена в составе ФОС по дисциплине в Приложении 2 к рабочей программе.

Примерные варианты заданий для выполнения курсовой работы и перечень вопросов к экзамену по дисциплине представлены в составе ФОС по дисциплине в Приложении 2 к рабочей программе.

Перечень основной и дополнительной литературы и нормативных документов, необходимых в ходе преподавания дисциплины «Аэрология горных предприятий», приведен в п.7 настоящей рабочей программы.

9.1 При освоении студентами первого раздела курса лекций важно обратить внимание слушателей на цели и задачи курса «Газотурбинные установки». Необходимо также указать на их роль в энергетике и значение в технике, как одного из наиболее сложных и наукоемких объектов.

Часть материала курса желательно посвятить истории развития газотурбостроения, при этом показать роль России в получении важных теоретических, конструкторских, технологических и материаловедческих решений, определивших уровень мирового двигателестроения.

При рассмотрении ГТУ как тепловой машины целесообразно представить их общие признаки, а также отличия от других тепловых машин - двигателей внутреннего сгорания, паровых турбин и т.д.

При изложении цикла преобразования энергии в ГТУ на диаграммах (P-V) и (T-S) нужно представить формулу коэффициента полезного действия газотурбинной установки и провести анализ влияния на его уровень температурных параметров процесса.

При рассмотрении ГТУ открытого типа, их принципиальных схем и основных элементов - вентилятора, компрессора, камеры сгорания и турбины - необходимо указать на их назначение и рассказать об основных принципах работы и направлениях исследований, связанных с совершенствованием каждого из них.

Нужно также представить обзор ГТУ закрытого и полукрытого типа, рассказать об их особенностях и о том, какого типа ГТУ в основном используются на практике.

9.2 Для обеспечения лучшего понимания студентами основ термодинамических процессов в ГТУ их изложение и рассмотрение целесообразно провести в условиях использования идеального газа, изобарического подвода и отвода тепла, а также адиабатических условий сжатия и расширения рабочего тела. Вместе с тем необходимо рассказать об особенностях и реальных параметрах (состав продуктов сгорания, влажности, наличии вредных соединений, влиянии на коррозию материала установок и т.д.) рабочих смесей, используемых в эксплуатируемых установках.

При изложении материала, относящегося к камерам сгорания ГТУ, необходимо обратить внимание студентов на экономические проблемы, возникающие в процессе сжигания топлива (образование вредных выбросов в атмосферу), а также на методы, обеспечивающие снижение их содержания в продуктах сгорания.

9.3 Изложение материала, связанного с конструкцией осевых машин, принципами их действия и характером протекающих процессов, целесообразно осуществить совместно с демонстрацией соответствующих слайдов или специального учебного фильма.

Необходимо обратить внимание слушателей на особенности прохождения газового потока по тракту компрессора и турбины, на изменение давлений и скорости в сопловом аппарате и рабочем колесе.

При изложении материала, относящегося к конструкции лопаток турбин и компрессоров, целесообразно рассказать об особенностях их развития в каждом новом поколении двигателей.

В этом же разделе необходимо изложить основы расчета требуемого числа ступеней и базовых размеров компрессоров.

9.4 При представлении материалов, связанных с эксплуатационными характеристиками ГТУ, необходимо указать на наличие в системах газопроводов колебаний в подаче газа (сезонных, недельных, суточных и т.д.), что определяет разработку методов и оборудования, целью которых является обеспечение работы ГТУ при любых нагрузках в условиях наиболее высокой эффективности.

Определенный раздел должен быть посвящен экономичности газотурбинных установок при различных способах регулирования.

Необходимо также изложить основы построения характеристик ГТУ, определения зон допустимых режимов их работы, а также явления помпажа, причин его возникновения и методов предотвращения.

9.5 При ознакомлении студентов с конструкцией ГТУ нужно представить их основные узлы, рассказать о проблемах изготовления и балансировки роторов.

Важным является представление учащимся современного подхода к проектированию и изготовлению дисков и лопаток компрессоров и вентиляторов, опор (включая шарико- и роликоподшипники).

При изложении учебного материала, относящегося к камерам сгорания, желательно уделить внимание характеристикам и особенностям используемого топлива, вредным выбросам, образующимся при сжигании топлива в камерах сгорания, и методам их снижения.

Ознакомление слушателей с конструкцией турбин целесообразно совместить с изложением требований, предъявляемых к турбинам. Нужно показать, в каких сложных условиях они работают.

9.6 В процессе ознакомления студентов с материалами и технологиями ГТУ нужно показать, каким образом определяются оптимальные материалы для работы в том или ином температурном диапазоне.

Студентам необходимо дать представление о современных титановых, никелевых жаропрочных сплавах, включая сплавы с монокристаллической структурой.

Особое внимание должно быть уделено перспективным материалам - композиционным, интерметаллидным и керамическим.

При представлении настоящего раздела нужно изложить основы новых технологий - литье деталей с монокристаллической структурой, гранульную металлургию, ионную имплантацию, сварку трением, вакуумную металлургию, нанотехнологии и т.д.

9.7 При изложении материала курса желательно приводить различные практические примеры и иллюстративный материал в виде слайдов, фильмов и т.д.

9.8 Учитывая особенность контингента учащихся, заключающуюся в том, что они работают на производстве и часть из них реально сталкивается с обслуживанием ГТУ, целесообразно предложить некоторым студентам рассказать о тех или иных особенностях используемого оборудования и проблемах, возникающих в процессе его эксплуатации.

9.9 Целесообразно использование следующих информационных технологий:

- ознакомление с образцами - экспонатами (охлаждаемые и неохлаждаемые рабочие и сопловые лопатки ГТУ);
- представление иллюстративного материала по:
 - новым технологиям;
 - структуре и свойствам материалов, используемых в ГТУ;
- ознакомление с конспектами лекций по изучаемому курсу.

В качестве базы для проведения лабораторных и практических занятий

целесообразно использовать опытное производство ОАО «НПО» Сатурн». Рекомендации по промежуточному и итоговому контролю знаний студентов:

- на каждой двухчасовой лекции выделить в конце 5-7 минут для проверки качества усвоения материала путем постановки вопросов по основным разделам прочитанной части курса;
- обязательно в конце каждой лекции спрашивать, возникли ли какие-нибудь неясности по материалам изложенной части курса; часть завершающей лекции по изучению курса посвятить:
 - методическим рекомендациям по изучению тем;
 - изложению контрольных вопросов для проверки знаний во время зачета;
 - ознакомлению со списком литературы.

10. Методические указания обучающимся

Методические указания по освоению дисциплины.

Лекционные занятия проводятся в соответствии с содержанием настоящей рабочей программы и представляют собой изложение вопросов, связанных с ролью газотурбинных установок в технологических процессах транспорта и хранения газа и нефти. Они предусматривают представление краткой истории развития теории и практики газотурбинных двигателей и установок, теоретические, конструктивные и технологические особенности данных объектов машиностроения, изучение вопросов экологии и экономической эффективности установок.

Посещение лекционных занятий является обязательным. Пропуск лекционных занятий без уважительных причин в объеме более 40% от общего количества предусмотренных учебным планом на семестр лекций влечет за собой невозможность аттестации по дисциплине «Газотурбинные установки» по итогам семестра, так как обучающийся не набирает минимально допустимого для получения итоговой аттестации по дисциплине количества баллов за посещение лекционных занятий (см. соответствующие положения пункта 6 настоящей рабочей программы).

В ходе лекций обучающимся рекомендуется:

- вести конспектирование учебного материала. Допускается конспектирование лекционного материала письменным и компьютерным способом.
- обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации по их применению;

- задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью правильного понимания теоретических положений, разрешения спорных ситуаций.

Для успешного овладения курсом необходимо посещать все лекции, так как тематический материал взаимосвязан между собой.

Практическое занятие - это активная форма учебного процесса в вузе. При подготовке к практическим занятиям обучающемуся необходимо изучить основную литературу, ознакомиться с дополнительной литературой, учесть рекомендации преподавателя. Практические задания выполняются обучающимися в аудиториях и самостоятельно. Практическое задание оценивается по критериям, представленным в Приложении 2 к рабочей программе.

Проведение практических занятий по дисциплине «Газотурбинные установки» осуществляется в формах, описанных в пункте 5 настоящей рабочей программы.

Посещение практических занятий и активное участие в них является обязательным. Пропуск практических занятий без уважительных причин в объеме более 50% от общего количества предусмотренных учебным планом на семестр занятий даже при условии отличной работы на оставшихся занятиях влечет за собой невозможность аттестации по дисциплине по итогам семестра.

Подготовка к практическим занятиям обязательно включает в себя изучение конспектов лекционного материала для адекватного понимания условий и способов решения заданий, запланированных преподавателем на конкретное практическое занятие.

Методические указания по выполнению различных форм внеаудиторной самостоятельной работы

Важной частью самостоятельной работы является чтение учебной и научной литературы. Основная функция учебников - ориентировать обучающегося в системе знаний, умений и навыков, которые должны быть усвоены по данной дисциплине будущими выпускниками.

Список основной и дополнительной литературы и обязательных к изучению нормативно-правовых документов по дисциплине «Газотурбинные установки» приведен в п.7 настоящей рабочей программы. Следует отдавать предпочтение изучению нормативных документов по соответствующим разделам дисциплины «Газотурбинные установки» по сравнению с их адаптированной интерпретацией в учебной литературе.

Изучение основной и дополнительной литературы, а также нормативно-

правовых документов по дисциплине проводится на регулярной основе в разрезе каждого раздела в соответствии с приведенными в п.6 рабочей программы рекомендациями для подготовки к промежуточной и итоговой аттестации по дисциплине «Газотурбинные установки».

Курсовая работа.

В соответствии с учебным планом в процессе изучения дисциплины обучающиеся выполняют курсовую работу (КР) по заданиям, приведенным в Приложении 2 к рабочей программе.

Целью выполнения КР является формирование у обучающихся системы умений и навыков в области инженерных методов расчетов и проектирования ГТУ и их основных узлов.

Задачами выполнения КР являются:

- освоение и умение различать ГТУ открытого типа (наиболее широко используемые в практике), а также газотурбинные установки закрытого и полужакрытого типа;
- умение определять термодинамический цикл ГТУ и знание факторов, оказывающих определяющее влияние на его величину;
- закрепление знаний конструктивных особенностей осевых турбомашин, их достоинств и недостатков, определяющих оптимальные области применения;
- знание проблем экологического воздействия ГТУ на окружающую среду, процессов образования вредных выбросов и факторов, определяющих интенсивность их выделения в атмосферу;
- умение оценивать связь прочностных параметров основных деталей и узлов газотурбинных установок с режимами эксплуатации и условиями воздействия газового потока;
- закрепление знаний в области проблемы высокотемпературной газовой и сульфидной коррозии материалов используемых в ГТУ, умение определять связь состава топлива и окружающей среды с долговечностью и эффективностью работы установок;
- овладение материальным обликом и критическими технологиями, используемыми при создании современных установок.

Выполнение КР является обязательным условием для допуска обучающегося к экзамену. КР оценивается по критериям, представленным в Приложении 2 к рабочей программе.

Сведения о текущем контроле успеваемости обучающихся

Текущий контроль успеваемости осуществляется в течение семестра

путем регулярной проверки присутствия обучающегося на лекционных и практических занятиях, оценки качества и активности работы на практических занятиях при решении задач и в ходе блиц-опросов.

Сведения о текущей работе студентов по дисциплине «Газотурбинные установки» фиксируются преподавателем и служат базовым основанием для формирования семестрового рейтинга по дисциплине.

Текущая аттестация по дисциплине «Газотурбинные установки» проводится в формах контрольных работ, оценки защиты КР и тестирования (см. соответствующие положения ФОС по дисциплине в Приложении 2 к рабочей программе).

Примерные задания для контрольных работ, а также вопросы тестирования по дисциплине «Газотурбинные установки» приведены в различных подпунктах в составе ФОС по дисциплине в Приложении 2 к рабочей программе без указания правильных вариантов ответов или методики выполнения соответствующих заданий для стимулирования поисковой активности обучающегося.

Методические указания по подготовке к промежуточной/ итоговой аттестации

Промежуточная аттестация по дисциплине «Газотурбинные установки» в 9м семестре проходит в форме зачета. Билет зачета по дисциплине «Газотурбинные установки» состоит из двух вопросов теоретического характера. Примерный перечень вопросов зачета по дисциплине «Газотурбинные установки» и критерии оценки ответа обучающегося для целей оценки сформированности компетенций приведен в соответствующем подпункте Приложении 2 к рабочей программе.

Подготовка к зачету предполагает изучение рекомендуемой литературы и других источников, конспектов лекций, повторение материалов практических занятий.

Программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки специалистов 21.03.01 «Нефтегазовое дело».

Структура и содержание дисциплины «Газотурбинные установки»
 Направление подготовки – 21.03.01 «Нефтегазовое дело»
 Форма обучения - очная

Раздел	Курс	Неделя	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость в часах					Самостоятельной работы студентов					Формы аттестации	
			Л	П/З	Лаб.	СРС	КСР	К.Р.	К.П.	РГР	Реф.	К/р	Э	З
1. Назначение ГТУ. Принципиальные циклы и схемы газотурбинных установок	5		2	-	2	10								
2. Основы термодинамического расчета ГТУ	5		2	-	2	10								
3. Осевые турбомашин	5		1	-	-	10								
4. Эксплуатационные характеристики ГТУ при работе на газопроводах	5		1	2	1	20						+		
5. Конструкции ГТУ	5		1	2	-	20						+		
6. Материалы и технологии газотурбинных установок	5		1	2	1	18		+						
Всего часов по дисциплине	108		8	6	6	88		+				+		+

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Направление подготовки: 21.03.01 «**Нефтегазовое дело**»

Профиль
**«Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти,
газа и продуктов переработки»**

Формы обучения: *очная*

Виды профессиональной деятельности:

- производственно-технологическая;
- организационно-управленческая;
- научно-исследовательская;
- проектная

Кафедра: *Техники и технологии горного и нефтегазового производства*

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по дисциплине
«Газотурбинные установки»

Москва 2020

1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения дисциплины. Формы контроля формирования компетенций.

Код компетенции	В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать	Формы контроля	Этапы формирования (разделы дисциплины)
1	2	3	4
ПК-1	Способностью применять процессный подход в практической деятельности, сочетать теорию и практику.	Промежуточный контроль: защита курсовой работы, зачет. Текущий контроль: опрос на практических и лабораторных занятиях, тестирование.	1-4
ПК-9	Способностью осуществлять оперативный контроль за техническим состоянием технологического оборудования, используемого при строительстве, ремонте, реконструкции и восстановлении нефтяных и газовых скважин, добыче нефти и газа, сборе и подготовке скважинной продукции, транспорте и хранении углеводородного сырья.	Промежуточный контроль: защита курсовой работы, зачет. Текущий контроль: опрос на практических и лабораторных занятиях, тестирование.	1, 4, 6
ПК-10	Способностью участвовать в исследовании технологических процессов,	Промежуточный контроль: защита курсовой работы, зачет.	2, 3, 4, 6

	совершенствовании технологического оборудования и реконструкции производства.	Текущий контроль: опрос на практических и лабораторных занятиях, тестирование.	
ПК-14	Способностью проводить диагностику, текущий и капитальный ремонт технологического оборудования, используемого при строительстве, ремонте, реконструкции и восстановлении нефтяных и газовых скважин, добыче нефти и газа, сборе и подготовке скважинной продукции, транспорте и хранении углеводородного сырья.	Промежуточный контроль: защита курсовой работы, зачет. Текущий контроль: Опрос на практических и лабораторных занятиях, тестирование.	3, 4, 5, 6
ПК-25	Способностью использовать физико-математический аппарат для решения расчетно-аналитических задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности.	Промежуточный контроль: защита курсовой работы, зачет. Текущий контроль: Опрос на практических и лабораторных занятиях, тестирование.	2, 3, 5, 6
ПК-26	Способностью выбирать и применять соответствующие методы моделирования физических, химических и технологических процессов.	Промежуточный контроль: защита курсовой работы, зачет. Текущий контроль: Опрос на практических и лабораторных занятиях,	1, 2, 6

		тестирование.	
--	--	---------------	--

2. Показатели и критерии оценивания компетенции при изучении дисциплины, описание шкал оценивания

2.1 Критерии оценки ответа на зачете (формирование компетенций ПК-1, ПК-9, ПК-10, ПК-14, ПК-25, ПК-26)

«5» (отлично): обучающийся четко и без ошибок отвечает на все экзаменационные вопросы, демонстрирует системные теоретические знания, владеет терминами, делает аргументированные выводы и обобщения, приводит примеры, показывает способность быстро реагировать на уточняющие вопросы.

Обучающийся на высоком уровне владеет навыками проектирования и термодинамического расчета параметров ГТУ, обладает знаниями конструктивных особенностей основных узлов установок, владеет технологическими процессами их производства (ПК-1, ПК-9, ПК-10, ПК-14, ПК-25, ПК-26).

«4» (хорошо): обучающийся отвечает на все экзаменационные вопросы, демонстрирует прочные теоретические знания, владеет терминами, делает аргументированные выводы и обобщения, приводит примеры, но при этом делает несущественные ошибки, которые быстро исправляет самостоятельно или при незначительной коррекции преподавателем.

Обучающийся хорошо владеет знаниями конструкции ГТУ и их основных узлов, анализа и использования нормативных и правовых документов по безопасности (в том числе экологической) промышленной санитарии при проектировании, строительстве и эксплуатации ГТУ (ПК-1, ПК-4).

«3» (удовлетворительно): обучающийся удовлетворительно отвечает на экзаменационные вопросы, демонстрирует неглубокие теоретические знания, проявляет слабо сформированные навыки анализа явлений и процессов, недостаточное умение делать аргументированные выводы и приводить примеры, показывает не достаточно свободное владение терминами, логичностью и последовательностью изложения, делает ошибки, которые может исправить только при коррекции преподавателем.

Обучающийся на удовлетворительном уровне владеет навыками термодинамического расчета узлов ГТУ, анализа и использования нормативных и правовых документов по безопасности (включая экологическую) и промышленной санитарии при проектировании, строительстве и эксплуатации газотурбинных установок (ПК-1, ПК-4).

«2» (неудовлетворительно): обучающийся демонстрирует незнание

теоретических основ предмета, не умеет делать аргументированные выводы и приводить примеры, не владеет терминами, проявляет отсутствие логичности и последовательности изложения, делает ошибки, которые не может исправить даже при коррекции преподавателем, неудовлетворительно отвечает на экзаменационные вопросы, отказывается отвечать на дополнительные вопросы.

Обучающийся не владеет навыками термодинамического расчета узлов ГТУ, их принципиальными циклами и схемами, не знает конструкции ГТУ и технологии производства (ПК-1, ПК-9, ПК-10, ПК-14).

2.2 Критерии оценки работы обучающегося на практических занятиях (формирование компетенций (ПК-1, ПК-9, ПК-10, ПК-14, ПК-25, ПК-26))

«5» (отлично): выполнены все практические задания, предусмотренные практическими занятиями, обучающийся четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы, активно работал на практических занятиях.

Обучающийся на высоком уровне владеет инженерными методами расчетов выбросов вредных веществ в атмосферу и водные объемы, хорошо знает принципиальные циклы и схемы ГТУ, их конструкцию, технологии и материалы, используемые при производстве установок (ПК-1, ПК-10, ПК-25, ПК-26).

«4» (хорошо): выполнены все практические задания, предусмотренные практическими занятиями, обучающийся с корректирующими замечаниями преподавателя ответил на все контрольные вопросы, достаточно активно работал на практических занятиях.

Обучающийся хорошо владеет инженерными методами расчетов термодинамических параметров и эффективности работы ГТУ, методами проектирования оптимальных технологических процессов, навыками поиска, анализа и использования нормативных и правовых документов в своей профессиональной деятельности (ПК-1, ПК-10, ПК-25, ПК-26).

«3» (удовлетворительно): выполнены все практические задания, предусмотренные практическими занятиями с замечаниями преподавателя; обучающийся ответил на все контрольные вопросы с замечаниями.

Обучающийся на удовлетворительном уровне владеет навыками поиска, анализа и использования нормативных и правовых документов в своей профессиональной деятельности, инженерными методами расчетов термодинамических параметров ГТУ, методами контроля работы оборудования, ремонта и восстановления работоспособности его узлов (ПК-1, ПК-9, ПК-14).

«2» (неудовлетворительно): обучающийся не выполнил или выполнил неправильно практические задания, предусмотренные практическими занятиями; студент ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на контрольные вопросы.

Обучающийся:

не владеет навыками поиска, анализа и использования нормативных и правовых документов в своей профессиональной деятельности, знаниями принципиальных схем и конструкции ГТУ, а также основных технологий производства установок;

не владеет инженерными методами расчетов выбросов вредных веществ в атмосферу (ПК-1, ПК-14, ПК-25, ПК-26)

2.3. Критерии оценки контрольной работы (формирование компетенций (ПК-1, ПК-9, ПК-10, ПК-14, ПК-25, ПК-26))

«5» (отлично): все задания контрольной работы выполнены без ошибок в течение отведенного на работу времени; работа выполнена самостоятельно, присутствуют собственные обобщения, заключения и выводы; отсутствуют орфографические и пунктуационные ошибки.

Обучающийся на высоком уровне владеет знаниями основных схем и конструкции ГТУ, основами термодинамических расчетов, умением обеспечивать эффективную работу установок в различных условиях эксплуатации (ПК-1, ПК-9, ПК-14)

«4» (хорошо): задания контрольной работы выполнены с незначительными замечаниями в полном объеме либо отсутствует решение одного задания; работа выполнена самостоятельно, присутствуют собственные обобщения, заключения и выводы; отсутствуют грубые орфографические и пунктуационные ошибки.

Обучающийся хорошо владеет знаниями основных схем и конструкции ГТУ, анализа и использования нормативных и правовых документов по безопасности и промышленной санитарии, умением надежно эксплуатировать установки и диагностировать их работоспособность (ПК-1, ПК-9, ПК-14, ПК-26).

«3» (удовлетворительно): задания контрольной работы имеют значительные замечания; работа выполнена самостоятельно, присутствуют собственные обобщения; присутствуют грубые орфографические и пунктуационные ошибки.

Обучающийся на удовлетворительном уровне владеет знаниями основных схем и конструкции ГТУ, анализа и использования нормативных и правовых

документов по безопасности и промышленной санитарии , проблем эксплуатации и диагностирования (ПК-1, ПК-9, ПК-14).

«2» (неудовлетворительно): задания в контрольной работе выполнены не полностью или неправильно; отсутствуют или сделаны неправильно выводы и обобщения; присутствуют грубые орфографические и пунктуационные ошибки.

Обучающийся не владеет знаниями принципов работы ГТУ, их основных схем, методами термодинамического расчета, анализа и использования нормативных и правовых документов по безопасности и промышленной санитарии вопросами диагностики (ПК-1, ПК-9, ПК-10, ПК-14).

2.4. Критерии оценки тестирования (формирование компетенций ПК-1, ПК-9, ПК-10, ПК-14, ПК-25, ПК-26).

Тестирование оценивается в соответствии с процентом правильных ответов, данных студентом на вопросы теста.

Стандартная шкала соответствия результатов компьютерного тестирования выставяемой балльной оценке:

- «отлично» - свыше 70,1% правильных ответов;
- «хорошо» - от 50,1% до 70% правильных ответов;
- «удовлетворительно» - от 40,1% до 50% правильных ответов;
- от 0 до 40% правильных ответов - «неудовлетворительно»

Стандартный регламент тестирования включает:

- количество вопросов - 50;
- продолжительность тестирования - 60 минут;
- генерация теста из БТЗ - методом случайной выборки;
- режим контроля - жесткий (отсутствие возможности тестируемым увидеть результат ответа на вопрос теста в процессе тестирования).

«5» (отлично): тестируемый демонстрирует системные теоретические знания, владеет терминами и обладает способностью быстро реагировать на вопросы теста.

Обучающийся:

на высоком уровне владеет навыками поиска, анализа и использования нормативных и правовых документов в своей профессиональной деятельности (ПК-1, ПК-9);

на высоком уровне владеет способностью разрабатывать мероприятия по снижению вредного воздействия отработанных газов на окружающую среду (ПК-9, ПК-10, ПК-14).

«4» (хорошо): тестируемый в целом демонстрирует системные

теоретические знания, владеет большинством терминов и обладает способностью быстро реагировать на вопросы теста.

Обучающийся:

хорошо владеет навыками поиска, анализа и использования нормативных и правовых документов в своей профессиональной деятельности (ПК-9, ПК-10);

хорошо владеет способностью разрабатывать мероприятия по снижению вредного воздействия технологических процессов и оборудования на окружающую среду (ПК-1, ПК-9, ПК-14, ПК-26).

«3» (удовлетворительно): системные теоретические знания у тестируемого отсутствуют, он владеет некоторыми терминами и на вопросы теста реагирует достаточно медленно.

Обучающийся:

на удовлетворительном уровне владеет навыками поиска, анализа и использования нормативных и правовых документов в своей профессиональной деятельности (ПК-9, ПК-10);

на удовлетворительном уровне владеет способностью разрабатывать мероприятия по снижению вредного воздействия технологических процессов и оборудования на окружающую среду (ПК-1, ПК-9, ПК-14, ПК-26).

«2» (неудовлетворительно): системные теоретические знания у тестируемого отсутствуют, терминологией не владеет и на вопросы теста реагирует медленно.

Обучающийся:

не владеет навыками поиска, анализа и использования нормативных и правовых документов в своей профессиональной деятельности (ПК-9, ПК-10);

не владеет способностью разрабатывать мероприятия по снижению вредного воздействия технологических процессов и оборудования на окружающую среду (ПК-1, ПК-9, ПК-14, ПК-26).

2.5 Критерии оценки защиты курсовой работы (формирование компетенций ПК-1, ПК-9, ПК-14, ПК-25)

«5» (отлично): выполнены все задания курсовой работы в срок и в полном объеме; оформление, структура и стиль работы соответствуют предъявляемым требованиям к тестовым документам; работа выполнена самостоятельно, присутствуют собственные обобщения, заключения и выводы; правильные ответы на все вопросы при защите работы.

Обучающийся на высоком уровне владеет навыками расчета термодинамических параметров, эксплуатации и диагностирования ГТУ, инженерными методами расчетов выбросов вредных веществ в атмосферу (ПК-1,

ПК-9, ПК-14, ПК-25).

«4» (хорошо): выполнены все задания курсовой работы с незначительными замечаниями; работа выполнена в срок; в оформлении, структуре и стиле работы нет грубых ошибок; работа выполнена самостоятельно, присутствуют собственные обобщения, заключения и выводы; правильные ответы на все вопросы при защите работы.

Обучающийся хорошо владеет навыками расчета термодинамических параметров, эксплуатации и диагностирования ГТУ, инженерными методами расчетов выбросов вредных веществ в атмосферу (ПК-1, ПК-9, ПК-14, ПК-25).

«3» (удовлетворительно): задания курсовой работы имеют значительные замечания; работа выполнена с нарушениями графика, в оформлении, структуре и стиле работы есть недостатки; работа выполнена самостоятельно, присутствуют собственные обобщения; ответы не на все вопросы при защите работы.

Обучающийся на удовлетворительном уровне владеет навыками расчета термодинамических параметров, эксплуатации и диагностирования ГТУ, инженерными методами расчетов выбросов вредных веществ в атмосферу (ПК-1, ПК-9, ПК-14, ПК-25).

«2» (неудовлетворительно): задания курсовой работы выполнены не полностью или выполнены неправильно; отсутствуют или сделаны неправильно выводы и обобщения; оформление работы не соответствует предъявляемым требованиям; нет ответов на вопросы преподавателя при защите работы.

Обучающийся не владеет навыками расчета термодинамических параметров, эксплуатации и диагностирования ГТУ, инженерными методами расчетов выбросов вредных веществ в атмосферу (ПК-1, ПК-9, ПК-14, ПК-25).

2.6. Итоговые показатели балльной оценки сформированности компетенций по дисциплине в разрезе дескрипторов «знать/ уметь/ владеть»:

ПК-1 Способностью применять процессный подход в практической деятельности, сочетать теорию и практику.				
ПК-9 Способностью осуществлять оперативный контроль за техническим состоянием технологического оборудования.				
Показатель	Критерии оценивания			
	2	3	4	5
Знать: принципиальные схемы и термодинамические принципы работы ГТУ, особенности их эксплуатации, диагностики и ремонта, используемые материалы и технологии при	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие знаний научных теорий и практики ГТУ, принципов диагностики и	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие знаний научных основ теории и практики ГТУ, принципов диагностики и	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие знаний научных основ теории и практики ГТУ, принципов диагностики и	Обучающийся демонстрирует полное соответствие знаний научных основ теории и практики ГТУ, принципов диагностики и

производстве ГТУ, вредные выделения в отработанных газах и методы обеспечения экономической безопасности.	ремонта, нормативных документов по безопасности и промышленной санитарии, применяемых технологий и материалов.	нормативных документов по безопасности и промышленной санитарии, применяемых технологий и материалов. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.	нормативных документов по безопасности и промышленной санитарии, применяемых технологий и материалов, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	нормативных документов по безопасности и промышленной санитарии, применяемых технологий и материалов.
Уметь: организовывать работы по эксплуатации и ремонту ГТУ; разрабатывать технические требования и технические условия для эксплуатации газоперекачивающих установок.	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет оценивать состояние работающего оборудования; выбирать способ и схему ремонта его узлов, создавать технические требования (ТТ) и технические условия (ТУ) для обеспечения надежной эксплуатации.	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: оценивать состояние работающего оборудования; выбирать способ и схему ремонта его узлов, создавать ТТ и ТУ для обеспечения надежной эксплуатации. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность умений по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации.	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений: оценивать состояние работающего оборудования; выбирать способ и схему ремонта его узлов, создавать ТТ и ТУ для обеспечения надежной эксплуатации. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: оценивать состояние работающего оборудования; выбирать способ и схему ремонта его узлов, создавать ТТ и ТУ для обеспечения надежной эксплуатации.
Владеть: основными приемами эксплуатации и ремонта ГТУ; материалами и технологическими процессами производства деталей и узлов ГТУ.	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет основами эксплуатации и ремонта ГТУ, используемыми	Обучающийся владеет основами эксплуатации и ремонта ГТУ, используемыми материалами и технологиями производства,	Обучающийся владеет основами эксплуатации и ремонта ГТУ, используемыми материалами и технологиями производства,	Обучающийся в полном объеме владеет основами эксплуатации и ремонта ГТУ, используемыми материалами и технологиями

	материалами и технологиями производства.	допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей. Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	производства, свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.
ПК-10	Способностью участвовать в исследовании технологических процессов, совершенствовании технологического оборудования и реконструкции производства.			
ПК-14	Способностью проводить диагностику, текущий и капитальный ремонт технологического оборудования, используемого при строительстве, ремонте, реконструкции и восстановлении нефтяных и газовых скважин, добычи нефти и газа, сбора и подготовки скважинной продукции, транспорта и хранении углеводородного сырья.			
Знать: основы термодинамического расчета газотурбинных установок; методы и средства регистрации и контроля элементов ГТУ.	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: в области термодинамического расчета процессов, протекающих в ГТУ, методов и средств контроля работы узлов и деталей установок.	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: в области термодинамического расчета процессов, протекающих в ГТУ, методов и средств контроля работы узлов и деталей установок.	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: в области термодинамического расчета процессов, протекающих в ГТУ, методов и средств контроля работы узлов и деталей установок, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: в области термодинамического расчета процессов, протекающих в ГТУ, методов и средств контроля работы узлов и деталей установок, свободно оперирует приобретенными знаниями.
Уметь: Определять оптимальные режимы работы оборудования; осуществлять сборку и диагностику элементов газотурбинных установок.	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет определять оптимальные режимы работы оборудования, осуществлять сборку и диагностику элементов газотурбинных установок.	Обучающийся демонстрирует неполное умение определять оптимальные режимы работы оборудования, осуществлять сборку и диагностику элементов газотурбинных установок. Обучающийся испытывает значительные затруднения при определении существа мероприятий по снижению вредных факторов на состав	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие знаний по определению оптимальных режимов работы оборудования, осуществлению сборки и диагностики элементов газотурбинных установок.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие знаний и умений. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.

		атмосферы горных предприятий.		
Владеть: методами и приемами балансировки роторов ГТУ; оборудованием и технологиями вибродиагностики.	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет методами и приемами балансировки роторов ГТУ, оборудованием и технологиями вибродиагностики.	Обучающийся частично владеет инженерными методами и приемами балансировки роторов ГТУ, оборудованием и технологиями вибродиагностики, допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей. Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	Обучающийся частично владеет инженерными методами и приемами балансировки роторов ГТУ, оборудованием и технологиями вибродиагностики.	Обучающийся в полном объеме владеет инженерными методами и приемами балансировки роторов ГТУ, оборудованием и технологиями вибродиагностики. Обладает твердыми знаниями используемых при расчетах законов термодинамики, статических и динамических нагрузок на элементы ротора, подшипники и корпуса установок.
ПК-25 Способностью использовать физико-математический аппарат для решения расчетно-аналитических задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности.				
ПК-26 Способностью выбирать и применять соответствующие методы моделирования физических, химических и технологических процессов.				
Знать: Методы расчета прочностных, физических, химических и термодинамических параметров работающих систем и оборудования.	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: методов расчета прочностных, физических, химических и термодинамических параметров работающих систем и оборудования.	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: методов и вредных факторов горного производства; систем проветривания горных выработок; технологических схем дегазации месторождений полезных ископаемых.	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: опасных и вредных факторов горного производства; систем проветривания горных выработок; технологических схем дегазации месторождений полезных ископаемых, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: опасных и вредных факторов горного производства; систем проветривания горных выработок; технологических схем дегазации месторождений полезных ископаемых. Свободно оперирует приобретенными знаниями.
Уметь:	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет разрабатывать мероприятия по снижению вредного воздействия технологических	Обучающийся демонстрирует неполное умение разрабатывать мероприятия по снижению вредного воздействия технологических процессов и	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие знаний в разработке мероприятий по снижению вредного воздействия технологических	Обучающийся демонстрирует полное соответствие знаний и умений. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях

	процессов и оборудования, используемых в горном деле, на состав атмосферы горных предприятий.	оборудования, используемых в горном деле, на состав атмосферы горных предприятий.	процессов и оборудования, используемых в горном деле, на состав атмосферы горных предприятий.	повышенной сложности.
Владеть:	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет методами и приемами балансировки роторов ГТУ, оборудованием и технологиями вибродиагностики.	Обучающийся владеет инженерными методами и приемами балансировки роторов ГТУ, оборудованием и технологиями вибродиагностики, допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей. Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	Обучающийся частично владеет инженерными методами и приемами балансировки роторов ГТУ, оборудованием и технологиями вибродиагностики.	Обучающийся в полном объеме владеет инженерными методами и приемами балансировки роторов ГТУ, оборудованием и технологиями вибродиагностики. Обладает твердыми знаниями используемых при расчетах законов термодинамики, статических и динамических нагрузок на элементы ротора, подшипники и корпуса установок.

3. Методические материалы (типовые контрольные задания), определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Контрольные задания, применяемые в рамках текущего и промежуточного контроля по дисциплине, носят универсальный характер и предусматривают возможность комплексной оценки всего набора компетенций, предусмотренных ОП по дисциплине.

3.1. Текущий контроль (работа на практических занятиях) (формирование компетенций ПК-1, ПК-9, ПК-10, ПК-14, ПК-25, ПК-26)

Тематика практических заданий для текущего контроля по дисциплине изложена в Приложении 1 к рабочей программе.

3.2. Текущий контроль (тестирование) (формирование компетенций ПК-1, ПК-9, ПК-10, ПК-14, ПК-25, ПК-26)

Примерные вопросы к тестированию.

Каждый тест состоит из 4-10 тестовых заданий (элементарных задач) и предоставляет возможность выбора из перечня ответов. Тесты проводятся каждые две недели, как на аудиторных занятиях, так и в часы вне сетки расписания. Правильные решения разбираются на практических и/или лекционных занятиях, а также на консультациях.

3.2.1. Каковы основные операции, осуществляемые на компрессорной станции?

Полный ответ:

- на компрессорной станции осуществляется компримирование газа с целью его транспортировки в газопровод, газохранилище или потребителю;
- производство электрической и тепловой энергии для обеспечения собственных нужд станции, а также прилегающих поселков и предприятий;
- регенерация тепла отработанных газов для увеличения КПД газотурбинных установок;
- охлаждение газа в агрегате воздушного охлаждения (АВО);
- контроль параметров технологического процесса и управление его режимами.

3.2.2. Каков термодинамический цикл превращения потенциальной энергии газа в кинетическую энергию, обеспечивающую работу ГПА?

Ответ:

Термодинамический цикл состоит из следующих этапов:

- предварительное сжатие воздуха в направляющем аппарате;
- сжатие воздуха в компрессоре низкого давления;
- сжатие воздуха в компрессоре высокого давления;
- соединение воздушного потока с газом в камере сгорания, образование рабочего тела и его горение;
- расширение рабочего тела в турбине высокого давления;
- расширение рабочего тела в турбине низкого давления;
- прохождение через компрессор, обеспечивающий повышение давления транспортируемого газа, получение электрической энергии;
- прохождение через регенератор 1 для подогрева входящего воздуха с целью повышения КПД;
- прохождение через регенератор 2 с целью получения тепла для обогрева помещений КС, а также прилегающих поселков и предприятий.

3.2.3 Что такое помпаж двигателя и в чем заключаются особенности конструкции и управления, позволяющие предотвратить возникновение этого явления?

Ответ:

Помпаж – срывной режим работы газотурбинной установки, нарушение газодинамической устойчивости, сопровождающийся хлопками, мощной вибрацией, способной разрушить двигатель.

Помпаж вызывается существенными отклонениями в работе двигателя от расчетных режимов, включая

- резкое увеличение подачи газа в камеру сгорания,
- разрушение и отрыв лопаток рабочего колеса,
- уменьшение проходных сечений на входе в установку вследствие попадания воды, снега, льда, засорения фильтров,
- сбое в системе управления ГТУ.

Меры по предупреждению появления помпажа:

- наладка регулирования, в т.ч. введение в систему управления регулятора приемистости, ограничивающего скорость увеличения подачи топлива,
- применение поворотных направляющих аппаратов компрессора и турбины,
- использование клапанов перепуска газов (противопомпажных клапанов),
- остановка ГТУ.

3.2.4 Какие материалы используются в ГТУ?

Ответ:

В ГТУ, как правило, используются жаростойкие и жаропрочные стали, которые способны работать до температур порядка $(500-550)^{\circ}\text{C}$ и жаропрочные никелевые сплавы, из которых изготавливают лопатки и диски газовых турбин.

Однако сегодня в связи с повышением рабочих температур газа до $(1500-1800)\text{K}$ объем применения никелевых жаропрочных сплавов в узлах газовых турбин и даже последних ступенях компрессоров значительно вырос. Кроме того в связи с широким использованием в качестве ГТУ авиационных двигателей, отработавших свой ресурс, в компрессорах используют титановые сплавы.

3.3. Темы курсовой работы (формирование компетенций ПК-1, ПК-9, ПК-10, ПК-14, ПК-25, ПК-26).

Примерные темы курсовой работы.

- ГТУ-3. Описание, особенности эксплуатации и ремонта. Расчет КПД установки.
- Парогазовые установки, особенности их конструкции и эффективность. Расчет теплового баланса и расхода воздуха при горении.

- ГТН-114. Назначение, конструкция, расчет основных размеров компрессора.
- ГТУ АК-12СТ, конструкция лопатки I^й ступени ТВД и ее тепловой расчет.
- ГТУ НК-25СТ. Конструктивные особенности. Диск I^й ступени ТВД и его тепловой расчет.

3.4 Промежуточный контроль (вопросы зачета) (формирование компетенций ПК-1, ПК-9, ПК-10, ПК-14, ПК-25, ПК-26).

Вопросы для самопроверки

1. Температура газа перед турбиной и факторы, определяющие ее уровень.
2. Показать с привлечением T-S диаграмм состояния термодинамических циклов ГТУ характер и уровень влияния.
3. Какие параметры газа и воздуха влияют на эффективность процессов расширения и сжатия рабочего тела в термодинамическом цикле ГТУ и почему?
4. Можно ли сохранить температуру рабочего тела перед входом в турбину без изменения, если по какой-либо причине изменилась теплота сгорания топлива, и каким образом?
5. Какие факторы определяют уровень расхода воздуха при сжигании топлива в камере сгорания, и какие физические характеристики влияют на этот процесс?
6. Почему на лопатках рабочего колеса реактивной ступени лопаточной машины (турбины или компрессора) изменяют коэффициент реактивности по высоте лопатки?
7. У какой турбины (активной или реактивной) выше максимально допустимая частота вращения и почему?
8. Достоинства и недостатки радиальных и осевых лопаточных машин, определяющих область их применения.
9. Чем отличаются количественный и качественный способы регулирования ГТУ?
10. Каким образом можно сохранить частоту вращения турбины при увеличении утечек в тракте между компрессором и турбиной и как это отразится на КПД ГТУ?
11. В чем преимущество двухвальной турбины ГТУ с точки зрения антипомпажных условий работы компрессора? Помпаж. Причины его возникновения и меры предотвращения.
12. Какими конструктивными решениями обеспечивается устойчивость

процесса горения топлива в камере сгорания?

13. Какие газообразные вещества, образующиеся при сжигании топлива в камерах сгорания ГТУ, относятся к вредным выбросам в атмосферу?

14. Существующие методы и способы снижения содержания вредных соединений, возникающих в процессе сгорания рабочего тела в КС ГТУ.

15. Способы охлаждения дисков газовых турбин.

16. Особенности охлаждающих систем камер сгорания.

17. Методы охлаждения рабочих лопаток турбин.

18. Какие материалы используются для изготовления подшипников скольжения и почему?

19. Как производится охлаждение масла в системах маслообеспечения ГТУ?

20. Каким образом осуществляется компенсация температурного расширения валов турбины и компрессора в ГТУ?

21. Из каких материалов изготавливаются лопатки компрессоров высокого и низкого давления?

22. Каким требованиям должны удовлетворить материалы, предназначенные для производства камер сгорания ГТУ?

23. Почему для изготовления охлаждаемых рабочих лопаток газовых турбин используются литейные никелевые жаропрочные сплавы? 24. Какое специализированное механообрабатывающее оборудование применяют для изготовления компрессорных лопаток, и в чем заключаются его преимущества перед универсальными станками с ЧПУ?

25. Каковы основные достоинства технологии гранульной металлургии?

26. Каковы основные отличия технологий литья охлаждаемых лопаток газовых турбин с монокристалльной структурой от обычных методов точного литья?

27. Какие критерии определяют понятие ресурса ГТУ?

28. Какие факторы влияют на надежность газотурбинных установок?

29. Перечислите возможные причины отказов ГТУ из-за неполадок, возникающих в газовой турбине.

30. Назовите примеры стационарных, авиационных и судовых ГТУ, используемых в системе Газпрома, их КПД и реализуемую мощность.

31. В чем состоят отличия неполнонапорных и полнонапорных нагнетателей природного газа?

32. Каков уровень сезонных отличий температуры воздуха у земли и на глубине залегания газопроводов в различных регионах России?

33. Каково назначение продувочных свечей в топливной системе ГТУ?

34. Как устроены жалюзийный и циклонный фильтры, используемые в

воздухозаборной системе ГТУ?

3.4.1. Пример билета на зачете

МПУ	ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №1 по дисциплине «Газотурбинные установки» для студентов по направлению подготовки бакалавров 21.03.01 «Нефтегазовое дело»	УТВЕРЖДАЮ Зав. кафедрой _____ 2020г.
<ol style="list-style-type: none">1. Помпаж двигателя. Причины его возникновения и меры предотвращения.2. Термодинамические процессы в ГТУ на диаграмме состояния в (Т-S) координатах.		