

УТВЕРЖДАЮ

Проректор МЭИ

_____ Маслов С.И.

«__» _____ 20 г.

Направление подготовки: 141100 Энергетическое машиностроение,

Профиль(и) подготовки: «Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели»

Квалификация (степень) выпускника: повышение квалификации.

Форма обучения: очная, дистанционная

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
«КОНСТРУКЦИЯ ГАЗОТУРБИНЫХ УСТАНОВОК НА БАЗЕ АВИАЦИОННЫХ
ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИКИ»**

Цикл:	повышение квалифика- ции	
Часть цикла:	повышение квалифика- ции	
№ дисциплины по учебному плану:		
Часов (всего) по учебному плану:	от 18 часов до 66 часов в зависимости от блоч- ной структуры и контин- гента слушателей	
Трудоемкость в зачетных еди- ницах:	---	
Лекции	от 16 час. до 48 час.	
Практические занятия	от 0 час. до 16 час.	
Лабораторные работы	---	
Расчетные задания, рефераты	---	
Объем самостоятельной рабо- ты по учебному плану (всего)	---	
Экзамены	Зачет, выпускная работа	

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины является ознакомление слушателей курсов повышения квалификации с современными конструкциями газотурбинных установок на базе авиационных газогенераторов и способам их адаптации для энергетики, в том числе, для работы в парогазовом цикле совместно с паротурбинными установками и котлом-утилизатором уходящих газов.

По завершению освоения данной дисциплины слушатель курсов повышения квалификации должен быть способен и готов:

- обобщать, анализировать, воспринимать информацию о конструкциях имеющихся в РФ и за рубежом ГТУ на базе авиационных газогенераторов, ставить цели по адаптации их в энергетике РФ, выбирать пути достижения этих целей (ОК-1);
- использовать нормативные правовые документы в своей профессиональной деятельности (ПК-4);
- кооперироваться с коллегами, работать в коллективе (ОК-3);
- анализировать научно-техническую информацию о конструкциях ГТУ на базе авиационных газогенераторов, изучать отечественный и зарубежный опыт их использования в энергетике (ПК-6);
- обосновывать принятие конкретного технического решения при создании энергетической ГТУ на базе авиационных газогенераторов (ПК-14);
- участвовать в анализе исходных данных для оценки возможности применения ГТУ на базе авиационных газогенераторов в энергетике РФ с использованием нормативной документации и современных методов обработки информации (ПК-19, ПК-4, ПК-3, ПК-1);
- анализировать научно-техническую информацию, изучать отечественный и зарубежный опыт эксплуатации газотурбинного оборудования (ПК-6);
- формировать законченное представление о полученных результатах испытаний газотурбинного оборудования в виде отчета с его публикацией (публичной защитой) (ПК-7).
- участвовать в разработке и осуществлении эффективных проектов внедрения ГТУ на базе авиационных газогенераторов в энергетике РФ (ПК-17);
- проводить необходимые расчеты, обосновывать их и представлять результаты работы в соответствии с принятыми в России стандартами (ПК-14);

- владеть современными методами инструментального контроля основного оборудования ГТУ на базе авиационных газогенераторов с использованием современных информационных технологий (ПК-1, ПК-18);
- разрабатывать оперативные планы работы первичных производственных подразделений ТЭС, планировать работу персонала и оценивать результаты деятельности подразделений при ведении основных режимов энергетических ГТУ на базе авиационных газогенераторов (ПК-24);
- переоценивать накопленный опыт эксплуатации ГТУ на базе авиационных газогенераторов в энергетике в условиях развития науки и техники, анализировать свои возможности, приобретать новые знания, использовать различные средства и технологии обучения (ОК-6);
- самостоятельно работать, принимать решения в рамках своей профессиональной деятельности (ОК-7);
- анализировать различного рода рассуждения, публично выступать, аргументировано вести дискуссию и полемику (ОК-12);

Задачами дисциплины являются:

- дать информацию о различных циклах ГТУ, их преимуществах и недостатках, областях применения в энергетике;
- дать информацию об особенностях работы турбинной ступени ГТУ по сравнению с ПТУ;
- дать информацию об основных принципах конструирования энергетических ГТУ на базе авиационных газогенераторов;
- дать информацию об особенностях ГТУ на базе авиационных газогенераторов как энергетического двигателя;
- дать информацию об особенностях работы энергетических ГТУ на базе авиационных газогенераторов на переменном режиме;
- дать информацию о типовых отказах и повреждениях оборудования в энергетических ГТУ на базе авиационных газогенераторов;
- обучить современным организационным методам обеспечения надежности эксплуатации энергетических ГТУ на базе авиационных газогенераторов;
- обучить методикам расчета технико-экономических показателей энергетических ГТУ на базе авиационных газогенераторов при разных режимах работы;
- научить обосновывать конкретные технические решения по рациональному применению различных схем энергетических ГТУ на базе авиационных газогенера-

торов для обеспечения максимальной эффективности и надежности эксплуатации оборудования;

- обучить методикам оценки надежности при эксплуатации газотурбинного оборудования ТЭС на основе анализа основных показателей надежности технических систем.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВПО

Дисциплина базируется на общетехнических и естественнонаучных дисциплинах, изучаемых в рамках базовой части профессионального цикла основной образовательной программы подготовки бакалавра в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования (ФГОС ВПО). Знания, полученные по освоению дисциплины, необходимы слушателям курсов повышения квалификации в своей профессиональной деятельности.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения учебной дисциплины, обучающиеся на курсах повышения квалификации должны демонстрировать следующие результаты образования:

Знать:

- основные источники научно-технической информации по материалам в области конструкций энергетических ГТУ на базе авиационных газогенераторов (ОК-6, ПК-6);
- конструкцию и функционирование основных и вспомогательных систем современных ГТУ на базе авиационных газогенераторов (ПК-8, ПК-9);
- термодинамические основы функционирования ГТУ на базе авиационных газогенераторов (ПК-2, ПК-3, ПК-12);
- области применения энергетических ГТУ на базе авиационных газогенераторов (ПК-10);
- основные балансовые соотношения для анализа технико-экономических показателей энергетических ГТУ на базе авиационных газогенераторов (ПК-2);
- типовые мероприятия по повышению экологической безопасности энергетических ГТУ на базе авиационных газогенераторов (ПК-5, ПК-16);
- современные методы ведения безопасных эксплуатационных режимов энергетических ГТУ на базе авиационных газогенераторов С (ОК-6, ПК-6, ПК-17, ПК-24);
- методы проведения энергетических испытаний энергетических ГТУ на базе авиационных газогенераторов (ПК-17, ПК-18, ПК-19).

Уметь:

- воспринимать, использовать, обобщать, анализировать имеющуюся научно-техническую и справочную информацию в области конструкций энергетических ГТУ на базе авиационных газогенераторов, изучать отечественный и зарубежный опыт в этой области, ставить цели и выбирать пути их достижения, выполнять необходимые расчеты, обосновывать их и представлять результаты работы в соответствии с принятыми стандартами (ОК-1, ОК-12, ПК-6);
- использовать и анализировать накопленный опыт в условиях развития науки и техники, приобретать новые знания, использовать различные средства и технологии обучения (ОК-6, ПК-1);
- осуществлять сбор первичной информации и анализировать её при оценке конструкций энергетических ГТУ на базе авиационных газогенераторов с использованием нормативной документации и современных методов поиска и обработки информации (ПК-1, ПК-3, ПК-4);
- участвовать в планировании, разработке и осуществлении проектов энергетических ГТУ на базе авиационных газогенераторов, проводить техническое обследование оборудования и делать выводы о техническом состоянии объекта (ПК-15, ПК-17, ПК-7);
- рассчитывать балансовые соотношения для анализа технико-экономических показателей энергетических ГТУ на базе авиационных газогенераторов; оценивать остаточный ресурс оборудования при ведении различных режимов эксплуатации; оценивать экологическую, энергетическую и экономическую эффективность различных режимов эксплуатации энергетических ГТУ на базе авиационных газогенераторов (ПК-2, ПК-3, ПК-10, ПК-12, ПК-16, ПК-19);
- разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности на предприятии, обосновывать рациональные схемы и конструкции энергетических ГТУ на базе авиационных газогенераторов, осуществлять мероприятия по экономии энергоресурсов, разрабатывать программы по техническому перевооружению, реконструкции и модернизации объектов ТЭС.

Владеть:

- терминологией и проблематикой в области конструкций энергетических ГТУ на базе авиационных газогенераторов (ОК-1, ПК-2);
- навыками работы в коллективе и управления малыми коллективами исполнителей, готовностью генерировать и использовать новые идеи, а также навыками дискуссии по профессиональной тематике (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4);

- основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, использовать компьютер как средство работы с информацией, использовать современные и перспективные компьютерные и информационные технологии (ОК-6, ОК-11, ПК-1);
- навыками проектирования конструкций энергетических ГТУ на базе авиационных газогенераторов (ОК-1, ОК-11, ПК-1, ПК-2, ПК-14);
- методами расчета сравнительной оценки эффективности и надежности энергетических ГТУ на базе авиационных газогенераторов и их экологических преимуществ, а также элементами бизнес-планирования (ПК-14, ПК-16, ПК-19, ПК-22);
- навыками профессиональной эксплуатации современного диагностического оборудования для проведения технического обследования на энергетических ГТУ на базе авиационных газогенераторов (ПК-20).

Структура дисциплины

Разработанный комплекс дисциплин предназначен для развертывания широкомасштабной программы повышения квалификации специалистов в области эксплуатации газотурбинного оборудования ТЭС. Комплекс представляет собой совокупность дисциплин взаимосвязанных между собой и разработанных на основе единого методического подхода.

Базовая дисциплина разработана на основе учебной программы по подготовке магистров-инженеров по направлению подготовки 141100 «Энергетическое машиностроение» по профилю «Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели». Этот блок является вводным и разработан на 38 академических часов.

Второй блок представляет собой вариант первого блока, рассчитанного на углубленное изучение предлагаемых тем, в том числе рассматриваются вопросы переменных режимов ГТУ. Он направлен на более глубокое практическое освоение вопросов ведения режимов работы энергетических ГТУ на базе авиационных газогенераторов производства РФ и зарубежных, в том числе работающих в составе ПГУ утилизационного типа. Этот блок разработан на 66 академических часов.

Третий блок рассчитан на 18 академических часа. Он предназначен для овладения слушателями курсов повышения квалификации практических знаний конкретных конструкций энергетических ГТУ на базе авиационных газогенераторов производства фирмы General Electric (серии LM). Этот блок может быть использован как часть предыдущих блоков в качестве углубленного изучения.

Учебный блок
«Конструкция газотурбинных установок на базе авиационных
газогенераторов для энергетики»
(объем 38 часов)

Блок для подготовки специалистов по теме « Конструкция газотурбинных установок на базе авиационных газогенераторов для энергетики» рассчитан на 38 академических часа и включает следующие разделы:

- общие вопросы истории развития ГТУ;
- типы авиационных газотурбинных двигателей;
- области применения ГТУ в различных отраслях промышленности;
- перспективы применения ГТУ на базе авиационных газогенераторов в энергетике;
- сравнение ГТУ с другими типами тепловых двигателей;
- простая одновальная ГТУ;
- простая одновальная ГТУ с регенерацией теплоты;
- устройство и особенности многовальных ГТУ, области их применения;
- рабочий процесс в ступени компрессора;
- рабочий процесс в многоступенчатом компрессоре, особенности проточной части компрессора;
- рабочий процесс в ступени турбины;
- особенности проточной части компрессора;
- устройство и принцип действия камер сгорания;
- выбор температуры газа за камерой сгорания;
- охлаждение сопловых и рабочих лопаток;
- особенности конструкции подшипников;
- особенности конструкции направляющих лопаток компрессора;
- конструкции камер сгорания;
- конструкции сборных роторов современных ГТУ;
- конструкции охлаждаемых сопловых и рабочих лопаток;
- примеры конструкции ГТУ на базе авиационных газогенераторов для энергетики;
- вопросы для аттестации обучаемых.

Минимальный уровень образования принимаемых на обучение: специалисты с высшим техническим образованием. Форма обучения – очная.

Уровень получаемого образования: дополнительная профессиональная переподготовка. Блок снабжен аннотациями к лекционным и практическим занятиям, а также вопросами для аттестации слушателей.

УЧЕБНЫЙ БЛОК

«Конструкция газотурбинных установок на базе авиационных газогенераторов для энергетики»

(объем 38 часов)

Количество академических часов - 38

№	Раздел дисциплины	Всего часов в раздел	Виды учебной ра- боты, включая самостоятельную работу и трудо- емкость (в часах)			Формы текущего кон- троля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточ- ной аттестации (по семестрам)
			лк	пр	сам	
1	2	3	4	5	6	7
1	Основные схемы и циклы ГТУ	14	10	4		
2	Устройство, принцип работы и расчет ступени газовой турбины	8	6	2		
3	Устройство, принцип работы и расчет ступени осевого воздушно-го компрессора	6	4	2		
4	Устройство и принцип работы ка-меры сгорания ГТУ	4	4			
5	Примеры конструкций ГТУ на базе авиационных газогенераторов для энергетики	4	4			
6	Зачет	2				
	ВСЕГО	38	28	8		

Аннотации

лекционных и практических занятий к учебной программе для специалистов по теме

«Конструкция газотурбинных установок на базе авиационных газогенераторов для энергетики»

(объем 38 часов)

1. Основные схемы и циклы ГТУ

- Простая одновальная ГТУ с циклом $p = \text{const}$.
- Сопоставление идеальной и реальной ГТУ.
- Зависимость коэффициента полезного действия ГТУ, коэффициента полезной работы ГТУ, удельной полезной работы ГТУ от степени сжатия, температуры перед газовой турбиной и температуры окружающей среды.
- Простая одновальная ГТУ с регенерацией теплоты.
- Зависимость КПД, удельной работы и коэффициента полезной работы от степени сжатия и степени регенерации ГТУ.
- Влияние степени регенерации на величину оптимальной степени сжатия.
- Выбор рациональной величины степени регенерации.

2. Устройство, принцип работы и расчет ступени газовой турбины

- Рабочий процесс в ступени газовой турбины в $h-s$ диаграмме.
- Расчет ступени турбины с помощью треугольников скоростей.
- Структура потерь в ступени.
- Охлаждение ступени турбины.
- Расчет ступени турбины с учетом охлаждения.
- Рабочий процесс в многоступенчатой газовой турбине.
- Особенности проточной части многоступенчатой газовой турбины.
- Характеристика газовой турбины.

3. Устройство, принцип работы и расчет ступени осевого воздушного компрессора

- Рабочий процесс в ступени компрессора в $h-s$ диаграмме.
- Особенности расчета лопаточного аппарата ступени компрессора. Треугольники скоростей.
- Рабочий процесс в многоступенчатом компрессоре, особенности проточной части компрессора.

- Устройство и назначение поворотного входного аппарата (ВНА) и направляющих аппаратов компрессора.

- Определение числа ступеней компрессора и размеров проточной части.

- Характеристики компрессора.

4. Устройство и принцип работы камеры сгорания ГТУ

- Устройство и принцип действия камер сгорания.

- Топлива, используемые ГТУ, и системы подготовки и подачи топлива в камеру сгорания.

- Основные закономерности процесса горения.

- Организация сжигания газообразных и жидких топлив.

- Охлаждение жаровых труб и чистых продуктов сгорания топлива.

- Расчет расходов первичного и вторичного воздуха.

- Типы камер сгорания.

5. Примеры конструкций ГТУ на базе авиационных газогенераторов для энергетики

- Примеры конструкций различных ГТУ и их основных элементов – входного патрубка компрессора, корпуса компрессора, диффузора; корпуса камеры сгорания, корпуса газовой турбины.

- Особенности конструкции подшипников.

- Направляющие лопатки компрессора, их конструкция, крепление направляющих лопаток в корпусе компрессора.

- Особенности конструкции поворотных направляющих лопаток, привод поворотных лопаток.

- Антипомпажные клапаны и отборы охлаждающего воздуха от промежуточных ступеней компрессора.

- Особенности конструкций камер сгорания.

- Особенности конструкции сборных роторов современных ГТУ.

- Организация отбора воздуха из промежуточных ступеней компрессора для охлаждения сопловых, рабочих лопаток и дисков турбины.

- Особенности конструкций охлаждаемых сопловых и рабочих лопаток.

- Крепление сопловых и рабочих лопаток.

- Особенности конструкций охлаждаемых дисков турбины.

Учебный блок
«Конструкция газотурбинных установок на базе авиационных
газогенераторов для энергетики»
(объем 62 часа)

Блок для подготовки специалистов по теме «Конструкция газотурбинных установок на базе авиационных газогенераторов для энергетики» рассчитан на 66 академических часов и включает следующие разделы:

- общие вопросы истории развития ГТУ;
- типы авиационных газотурбинных двигателей;
- области применения ГТУ в различных отраслях промышленности;
- перспективы применения ГТУ на базе авиационных газогенераторов в энергетике;
- сравнение ГТУ с другими типами тепловых двигателей;
- простая одновальная ГТУ;
- простая одновальная ГТУ с регенерацией теплоты;
- устройство и особенности многовальных ГТУ, области их применения;
- рабочий процесс в ступени компрессора;
- рабочий процесс в многоступенчатом компрессоре, особенности проточной части компрессора;
- рабочий процесс в ступени турбины;
- особенности проточной части компрессора;
- устройство и принцип действия камер сгорания;
- выбор температуры газа за камерой сгорания;
- охлаждение сопловых и рабочих лопаток;
- особенности конструкции подшипников;
- особенности конструкции направляющих лопаток компрессора;
- конструкции камер сгорания;
- конструкции сборных роторов современных ГТУ;
- конструкции охлаждаемых сопловых и рабочих лопаток;
- примеры конструкции ГТУ на базе авиационных газогенераторов для энергетики;
- использование ГТУ при совместной работе с ПГУ в составе ПГУ;
- вопросы для аттестации обучаемых.

Минимальный уровень образования принимаемых на обучение: специалисты с высшим техническим образованием. Форма обучения – очная.

Уровень получаемого образования: дополнительная профессиональная переподготовка. Блок снабжен аннотациями к лекционным и практическим занятиям, а также вопросами для аттестации слушателей.

УЧЕБНЫЙ БЛОК

«Конструкция газотурбинных установок на базе авиационных газогенераторов для энергетики»

(объем 66 часов)

Количество академических часов - 62

№	Раздел дисциплины	Всего часов в раздел	Виды учебной ра- боты, включая самостоятельную работу и трудо- емкость (в часах)			Формы текущего кон- троля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточ- ной аттестации (по семестрам)
			лк	пр	сам	
1	2	3	4	5	6	7
1	Основные схемы и циклы ГТУ	14	10	4		
2	Устройство, принцип работы и расчет ступени газовой турбины	8	6	2		
3	Устройство, принцип работы и расчет ступени осевого воздушно-го компрессора	6	4	2		
4	Устройство и принцип работы ка-меры сгорания ГТУ	4	4			
5	Определение основных парамет-ров ГТУ	6	4	2		
6	Переменные режимы работы ГТУ	6	4	2		
7	Особенности эксплуатации ГТУ	12	8	4		
8	Примеры конструкций ГТУ на базе авиационных газогенераторов для энергетики	4	4			
9	Использование ГТУ в различных типах парогазовых установок (ПГУ)	4	4			
10	Зачет	2				
	ВСЕГО	66	48	16		

Аннотации

лекционных и практических занятий к учебной программе для специалистов по теме

«Конструкция газотурбинных установок на базе авиационных газогенераторов для энергетики»

(объем 66 часов)

1. Основные схемы и циклы ГТУ

- Простая одновальная ГТУ с циклом $p = \text{const}$.
- Сопоставление идеальной и реальной ГТУ.
- Зависимость коэффициента полезного действия ГТУ, коэффициента полезной работы ГТУ, удельной полезной работы ГТУ от степени сжатия, температуры перед газовой турбиной и температуры окружающей среды.
- Простая одновальная ГТУ с регенерацией теплоты.
- Зависимость КПД, удельной работы и коэффициента полезной работы от степени сжатия и степени регенерации ГТУ.
- Влияние степени регенерации на величину оптимальной степени сжатия.
- Выбор рациональной величины степени регенерации.

2. Устройство, принцип работы и расчет ступени газовой турбины

- Рабочий процесс в ступени газовой турбины в $h-s$ диаграмме.
- Расчет ступени турбины с помощью треугольников скоростей.
- Структура потерь в ступени.
- Охлаждение ступени турбины.
- Расчет ступени турбины с учетом охлаждения.
- Рабочий процесс в многоступенчатой газовой турбине.
- Особенности проточной части многоступенчатой газовой турбины.
- Характеристика газовой турбины.

3. Устройство, принцип работы и расчет ступени осевого воздушного компрессора

- Рабочий процесс в ступени компрессора в $h-s$ диаграмме.
- Особенности расчета лопаточного аппарата ступени компрессора. Треугольники скоростей.
- Рабочий процесс в многоступенчатом компрессоре, особенности проточной части компрессора.

- Устройство и назначение поворотного входного аппарата (ВНА) и направляющих аппаратов компрессора.

- Определение числа ступеней компрессора и размеров проточной части.

- Характеристики компрессора.

4. Устройство и принцип работы камеры сгорания ГТУ

- Устройство и принцип действия камер сгорания.

- Топлива, используемые ГТУ, и системы подготовки и подачи топлива в камеру сгорания.

- Основные закономерности процесса горения.

- Организация сжигания газообразных и жидких топлив.

- Охлаждение жаровых труб и чистых продуктов сгорания топлива.

- Расчет расходов первичного и вторичного воздуха.

- Типы камер сгорания.

5. Определение основных параметров ГТУ

- Выбор температуры газа за камерой сгорания.

- Определение глубины охлаждения сопловых и рабочих лопаток и расхода охлаждающего воздуха.

- Расчет скоростей потока и углов натекания потока на сопловые и рабочие лопатки с учетом распределения расходов охлаждающего воздуха по решеткам турбины.

- Расчет потерь в проточной части турбины с учетом охлаждения её элементов.

- Определение КПД, удельной полезной работы с учетом охлаждения корпуса и ротора газовой турбины.

6. Переменные режимы работы ГТУ

- Основы регулирования ГТУ на переменном режиме.

- Исходные уравнения для анализа переменных режимов

- Характеристика компрессора.

- Граница и природа помпажа в компрессоре.

- Линии равного КПД компрессора и постоянной частоты вращения ротора.

- Влияние переменной частоты вращения ротора и угла поворота ВНА и направляющих лопаток на характеристику компрессора.

- Характеристика турбины.

- Совместная характеристика компрессора и турбины.

- Работа ГТУ на частичных нагрузках при количественном и качественном регулировании мощности ГТУ.
- Влияние атмосферных условий на характеристики ГТУ.
- Работа ГТУ при пусках и остановах.

7. Особенности эксплуатации ГТУ

- Надежность и срок службы ГТУ.
- Комплексные показатели оценки надежности.
- Ремонтопригодность.
- Показатели оценки условий эксплуатации.
- Сроки службы различных элементов ГТУ.
- Обязанности обслуживающего персонала при эксплуатации ГТУ.
- Аварии и неполадки ГТУ.
- Причины возникновения аварий и неполадок в компрессорах, газовых турбинах и камерах сгорания.
- Диагностика технического состояния ГТУ.
- Оптимизация работы ГТУ.

8. Примеры конструкций ГТУ на базе авиационных газогенераторов для энергетики

- Примеры конструкций различных ГТУ и их основных элементов – входного патрубка компрессора, корпуса компрессора, диффузора; корпуса камеры сгорания, корпуса газовой турбины.
- Особенности конструкции подшипников.
- Направляющие лопатки компрессора, их конструкция, крепление направляющих лопаток в корпусе компрессора.
- Особенности конструкции поворотных направляющих лопаток, привод поворотных лопаток.
- Антипомпажные клапаны и отборы охлаждающего воздуха от промежуточных ступеней компрессора.
- Особенности конструкций камер сгорания.
- Особенности конструкции сборных роторов современных ГТУ.
- Организация отбора воздуха из промежуточных ступеней компрессора для охлаждения сопловых, рабочих лопаток и дисков турбины.
- Особенности конструкций охлаждаемых сопловых и рабочих лопаток.
- Крепление сопловых и рабочих лопаток.

- Особенности конструкций охлаждаемых дисков турбины.

9. Использование ГТУ в различных типах парогазовых установок (ПГУ)

- Особенности ГТУ как энергетического двигателя в сравнении с паровой турбиной;
- Газотурбинный цикл для автономной установки и парогазового цикла.
- Требования к ГТУ парогазовой установки.
- Особенности паротурбинного цикла ПГУ.
- Соотношение экономичности и мощности для ГТУ и ПГУ.

**Контрольные вопросы к темам для аттестации слушателей к учебным блокам
«Конструкция газотурбинных установок на базе авиационных
газогенераторов для энергетики»
(основные для курсов 38 часов и 66 часов)**

1. Из каких элементов состоит простая ГТУ, их назначение, принцип работы ГТУ?
2. Принцип действия камеры сгорания.
3. Каковы причины неудач при сооружении первых газотурбинных установок?
4. Каковы основные достоинства ГТУ?
5. Основные области применения ГТУ.
6. Почему в энергетике ГТУ в настоящее время используются в основном как пиковые?
7. Каковы перспективные области применения ГТУ?
8. До какой величины ожидается увеличение единичной мощности ГТУ в ближайшем будущем?
9. Какова температура газа перед турбиной в настоящее время и как она увеличится в ближайшем будущем?
10. Какие допущения обычно принимаются для приближенного анализа эффективности циклов ГТУ?
11. Как изображается процесс сжатия воздуха в компрессоре, процесс расширения газа в турбине, процесс подвода тепла в камере сгорания?
12. Почему степень сжатия в компрессоре отличается от степени расширения в турбине?
13. Что такое удельная полезная работа ГТУ?
14. Какую долю составляет полезная мощность ГТУ от мощности газовой турбины?
15. Как отличается температура воздуха за компрессором при изоэнтропийном и реальном процессе сжатия?
16. Как отличается температура газа за турбиной при изоэнтропийном и реальном процессе расширения?
17. Как определяется количество тепла, подведенного к рабочему телу в камере сгорания?
18. Как определить температуру за компрессором, если известна температура перед компрессором, его КПД и степень сжатия?
19. Как определить температуру газа за турбиной, если известна температура перед турбиной, КПД турбины и степень расширения в ней?
20. Чему равна температура за компрессором (турбиной) при степени сжатия равной единице? Как выглядит в этом случае цикл ГТУ в T-S координатах?
21. При какой степени сжатия температура за компрессором равна температуре перед турбиной? Как в этом случае изображается цикл ГТУ?
22. При какой степени сжатия количество тепла, подводимое в камеру сгорания, максимально?
23. При какой степени сжатия количество тепла, подводимое в камеру сгорания, минимально?
24. Как определить степень сжатия простой ГТУ, при которой ее удельная полезная работа максимальна?

25. Как изменяется КПД ГТУ с ростом температуры перед газовой турбиной? Какова причина такого изменения?
26. Как изменяется оптимальная степень сжатия с ростом температуры перед газовой турбиной?
27. При каких значениях степени сжатия КПД ГТУ равен нулю?
28. Почему оптимальные степени сжатия, при которых достигается максимальный КПД и максимальная удельная полезная работа простой ГТУ отличаются друг от друга?
29. Что такое коэффициент полезной работы?
30. При какой степени сжатия коэффициент полезной работы достигает максимума?
31. Изобразить кривую изменения коэффициента полезной работы (удельной полезной работы, удельного расхода, КПД) в зависимости от степени сжатия?
32. Что такое регенератор?
33. Что такое степень регенерации?
34. Для чего нужна регенерация ГТУ?
35. При какой степени регенерации совпадают оптимальные степени сжатия, при которых достигаются наибольший КПД и удельная полезная работа ГТУ?
36. Как изменяется удельная поверхность регенератора в зависимости от степени регенерации?
37. Как определить температуру перед камерой сгорания, если известна температура за компрессором, турбиной и степень регенерации?
38. Как изменяется КПД ГТУ с ростом степени регенерации?
39. Как изменяется оптимальная степень сжатия ГТУ с ростом регенерации?
40. Почему с ростом степени регенерации уменьшается оптимальная степень сжатия?
41. Как отличается удельная работа сжатия в компрессоре (расширения в турбине) при изоэнтальпийном и изотермическом сжатии?
42. Как можно реализовать процесс близкий к изотермическому сжатию или изотермическому расширению в реальной ГТУ?
43. Как влияет промежуточное охлаждение (подогрев) на удельную полезную работу (КПД, оптимальную степень сжатия)?
44. Почему целесообразно использовать регенерацию в схемах с промежуточным охлаждением и промежуточным подводом тепла?
45. Какие дополнительные условия должны быть выполнены при расчете сложной ГТУ с одним или несколькими свободными валами?
46. Почему оптимальная степень сжатия сложной ГТУ со свободным (свободными) валом отличается от оптимальной?
47. Каков порядок определения оптимальной степени сжатия сложной ГТУ?
48. Каковы особенности выбора степеней сжатия в компрессорах и степеней расширения в турбинах в сложных ГТУ с регенерацией и без регенерации?
49. Почему КПД сложной ГТУ со свободными валами на расчетном режиме всегда меньше, чем КПД ГТУ той же схемы, но одновальной?
50. Чем вызвана необходимость создания парогазовых установок?
51. Что такое коэффициент избытка воздуха?
52. Как изменяется КПД ГТУ с ростом температуры окружающей среды?
53. Что больше сказывается на КПД ГТУ - изменение КПД компрессора или турбины?

54. Какой элемент газовой турбины прежде всего ограничивает начальную температуру газа?
55. Дать определение КПД входного и выходного патрубков.
56. Почему потери давления в патрубках газовой турбины сказываются существенно, чем в паровой турбине?
57. Как выбирают температуру уходящих газов за КУ?
58. Зачем используют в ПГУ систему КУ пара двух и трех давлений?
59. Вопросы по конструкциям конкретных узлов ГТУ.

**Контрольные вопросы к темам для аттестации слушателей к учебным блокам
" Повышение эффективности и надежности эксплуатации паротурбинного
оборудования " (дополнительные для курса 66 часов)**

1. Какие величины должны быть заданы для теплового расчета ГТУ?
2. Какие уравнения необходимо совместно решить для определения коэффициента избытка воздуха?
3. Как осуществляется регулирование мощности ГТУ?
4. Напишите исходные уравнения для анализа переменных режимов.
5. Изобразите характеристику компрессора.
6. Что такое помпаж?
7. Основная опасность помпажа?
8. Изобразите характеристику турбины.
9. Изобразите совместную характеристику компрессора и турбины.
10. Что такое количественное регулирование мощности ГТУ?
11. Что такое качественное регулирование мощности ГТУ?
12. Как влияет наружная температура на характеристики ГТУ.
13. Назовите наиболее повреждаемые элементы газотурбинного оборудования.
14. Чем опасны повреждения вспомогательного оборудования?
15. Какова роль персонала в развитии аварии?
16. Зачем расследуют причины аварий?
17. Что называется аварией?
18. Что называется отказом?
19. Назовите комплексные показатели надежности.
20. Как определить величину остаточного ресурса оборудования?
21. Как осуществляется пуск в эксплуатацию энергетических объектов?
22. Какие требования к персоналу предъявляют правила эксплуатации?
23. В чем заключается периодическое техническое освидетельствование газотурбинного оборудования?
24. Особенности ГТУ как энергетического двигателя в сравнении с паровой турбиной.
25. Изобразите газотурбинный цикл для автономной установки и парогазового цикла.
26. Какие основные требования к ГТУ парогазовой установки.
27. Назовите основные особенности паротурбинного цикла ПГУ.
28. Каково соотношение экономичности и мощности для ГТУ и ПГУ.

УЧЕБНЫЙ БЛОК

«Конструкция газотурбинных установок на базе авиационных газогенераторов для энергетики на базе ГТУ серии LM фирмы General Electric» (объем 18 часов)

Цель: ознакомление слушателей с основными особенностями конструктивных схем и эксплуатационных режимов типовых ГТУ серии LM фирмы General Electric.

Категория слушателей: специалисты энергетических предприятий, занятые при эксплуатации паротурбинного оборудования

Срок обучения: 22 часа.

Форма обучения: с отрывом от работы.

№	Раздел дисциплины	Всего часов в раздел	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу и трудоемкость (в часах)			Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			лк	пр	сам	
1	2	3	4	5	6	7
1	Особенности одновальной и двухвальной ГТУ простого цикла	2	2			
2	Особенности энергетических ГТУ на базе ГТУ LM 2500+ производства фирмы GE	6	6			
3	Особенности систем регулирования и защиты ГТУ LM 2500+ производства фирмы GE	4	4			
4	Методы диагностики повреждений и безопасной эксплуатации ГТУ LM 2500+ производства фирмы GE	4	4			
	Зачёт	2				
Итого		18	16			

Аннотации

лекционных и практических занятий к учебному блоку по теме «Конструкция газотурбинных установок на базе авиационных газогенераторов для энергетики на базе ГТУ серии LM фирмы General Electric» (объем 18 часов)

1. Особенности одновальной и двухвальной ГТУ простого цикла

- Схемы и циклы простой одновальной и двухвальной ГТУ.
- Особенности одновальной и двухвальной ГТУ простого цикла с точки зрения конструкции и эксплуатации.

2. Особенности энергетических ГТУ на базе ГТУ LM 2500+ производства фирмы GE.

- Развитие конструкций ГТУ на базе ГТУ LM 2500 начиная с 1960-70-х годов.
- Различные компоновки.
- Изменение характеристик.
- Особенности элементов конструкции на примере ГТУ LM 2500 +G4
- Системы ГТУ:

Система минерального смазочного масла

Система синтетического смазочного масла

Гидравлическая система турбины

Система газового топлива

Системы промывки турбины водой

Гидравлическая пусковая система

Система вентиляции и воздуха для горения

Система пожаротушения и детектирования газа

Система мониторинга вибраций

Электронная система управления

Системы аккумуляторных батарей и зарядных устройств

3. Особенности систем регулирования и защиты ГТУ LM 2500+ производства фирмы GE

- Особенности регулирования ГТУ на переменном режиме.
- Характерные особенности двухвальных ГТУ как объекта регулирования.
- Функции САУ ГТУ.

- Микропроцессорная система управления Mark Vie.
- Резервирование.
- Схема алгоритма выбора минимального значения.
- Диапазоны и уставки КИП в системе аварийной сигнализации и останова ГТУ.
- Обозначения на пульте управления.

4. Методы диагностики повреждений и безопасной эксплуатации ГТУ LM 2500+ производства фирмы GE

- Планирование технического обслуживания.
- Особенности технического обслуживания ГТУ.
- Основные факторы, влияющие на интервалы технического обслуживания и срок службы ГТУ.
- Технические осмотры.
- Интервалы осмотров.
- Планирование снабжения запасными частями

Контрольные вопросы к темам для аттестации слушателей к учебным блокам «Конструкция газотурбинных установок на базе авиационных газогенераторов для энергетики» (объем 18 часов)

1. Какие опасности для ГТУ возникают при нестационарных режимах работы?
2. Назовите примерные регулировочные диапазоны ГТУ.
3. Какой документ регламентирует проведение всех режимов работы ГТУ?
4. Какова последовательность действий эксплуатационного персонала при аварийных ситуациях на ГТУ?
5. Что включают энергетические характеристики ГТУ?
6. Назовите цели и задачи технического обслуживания ГТУ.
7. В чем состоит наблюдение за работающей ГТУ?
8. Какие профилактические мероприятия выполняются при технических осмотрах ГТУ в режиме ожидания и при планово-предупредительных ремонтах?
9. С какой примерной периодичностью выполняются технические ревизии ГТУ с частичным вскрытием и планово-предупредительные ремонты?
10. С какой примерной периодичностью выполняются глобальные ревизии и капитальные ремонты ГТУ?

11. Назовите факторы, с учетом которых осуществляется планирование межремонтных периодов ГТУ в условиях эксплуатации.
12. Вопросы по конструкциям конкретных узлов ГТУ.

ЛИТЕРАТУРА

Учебники и учебные пособия

1. Елисеев Ю.С. и др. Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок. М., Изд. МГТУ им. Баумана, 2000, 639 с.
2. Ольховский Г.Г. Энергетические газотурбинные установки. М.: Энергоатомиздат. 1985.
3. Тепловые и атомные электростанции. Справочник книга 3 под ред. А.В. Клименко и В.Н. Зорина. М.: Изд. МЭИ, 648 с.
4. Арсеньев Л.В. и др. Стационарные газотурбинные установки. Справочник. Л.: Машиностроение. Ленингр. Отделение 1989. – 543 с.
6. Цанев С.В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: учебное пособие для вузов/ С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.Н. Ремезов; под ред. С.В. Цанева. – 3-е издание. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 580 с.
7. Паровые и газовые турбины для электростанций: учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. / А.Г. Костюк, В.В. Фролов, А.Е. Булкин, А.Д. Трухний. Под редакцией А.Г. Костюка. - Издательский дом МЭИ, 2008. – 556 с.
8. Жирицкий Г.С. и др. Газовые турбины двигателей летательных аппаратов. - М. Машиностроение, 1971. – 619 с.
9. Ковалевский М.М. Стационарные ГТУ открытого цикла. - М. Машиностроение, 1979. – 260 с.
10. Скубачевский Г.С. Авиационные газотурбинные двигатели. Конструкция и расчет деталей. - М. Машиностроение, 1974. – 519 с.
11. Ревзин Б.С., Ларионов И.Д. Газотурбинные установки с нагнетателями для транспорта газа. – М. Недра, 1991. – 302 с.
12. Емин О.Н. Использование авиационных ГТД для создания наземных транспортных и стационарных энергетических установок. М. Издательство МАИ, 1998. – 80 с.

Декан ФПКПС МЭИ

Крюков А.П.

Автор

Дмитриев С.С.