

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе


_____ Н.В.Лобов

« 25 » февраля 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: _____ Турбомашины двигателей и энергетических установок
(наименование)

Форма обучения: _____ очная
(очная/очно-заочная/заочная)

Уровень высшего образования: _____ магистратура
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

Общая трудоёмкость: _____ 144 (4)
(часы (ЗЕ))

Направление подготовки: _____ 24.04.05 Двигатели летательных аппаратов
(код и наименование направления)

Направленность: _____ Проектирование и конструкция двигателей и энергетических
установок летательных аппаратов
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель учебной дисциплины:

– формирование комплекса знаний о параметрическом совершенстве, моделировании и описании характеристик и газодинамических процессов в турбомашинах двигателей и энергетических установок; умений и навыков составления аналитических моделей и исследования с их помощью стационарных режимов турбомашин двигателей и энергетических установок, подготовки отчётов по результатам исследования.

Полученные при изучении курса «Турбомшины двигателей и энергетических установок» знания должны позволить студентам подготовиться к изучению специальных дисциплин, связанных с расчётом, моделированием и анализом совместной работы узлов, проектированием авиационных двигателей и энергетических установок.

В процессе изучения данной дисциплины студент расширяет и углубляет следующие общекультурные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции:

- способность использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, в управлении коллективом;
- способность осуществлять подготовку научно-технических отчётов, обзоров и публикаций по результатам выполненных исследований и разработок;
- способность разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты сложных изделий с использованием средств автоматизированного проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных изделий;
- способность проводить технические расчёты по проектам, технико-экономического и функционально-стоимостного анализа эффективности проектируемых изделий и конструкций;

Задачи учебной дисциплины:

- изучение средств описания термогазодинамических процессов, характеристик и методов обеспечения устойчивой работы лопаточных машин;
- формирование умения формировать аналитические модели для расчетного обоснования конструктивного и параметрического облика турбомашин, анализа технико-экономического совершенства, характеристик, нагруженности и прочностного состояния основных элементов турбомашин;
- формирование навыков решения аналитических моделей и реализации его результатов в форме эскизных проектов основных элементов проточной части турбомашин, оформления и представления результатов технического решения.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

– параметрические оценки конструктивного, технического и функционального совершенства турбомашин двигателей и энергетических установок;

– математический аппарат, используемый при изучении, описании и решении моделей стационарных режимов и характеристик компрессоров и газовых турбин;

– физические и математические модели процессов в турбомашинах двигателей и энергетических установок;

– термогазодинамические процессы и энергетические преобразования и их конструктивная реализация в элементах турбомашин двигателей и энергетических установок;

– методы регулирования турбомашин двигателей и энергетических установок.

1.3. Входные требования

Не предусмотрены

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-2.4	ИД-1ПК-2.4	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> – параметрические и схемные модели турбомашин, конструктивные, прочностные и газодинамические требования и ограничения, способы их реализации; – одномерные и пространственные физические и математические модели рабочих процессов в узлах турбомашин; – физические модели характеристик и неустойчивой работы компрессоров, мероприятия по обеспечению газодинамической устойчивости; 	<p>Знает методики и этапность проведения газодинамических, тепловых и прочностных расчётов процессов в двигателях и энергетических установках летательных аппаратов.</p>	Экзамен
ПК-2.4	ИД-2ПК-2.4	<p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> – формулировать и обосновывать физические и математические модели рабочих процессов в узлах турбомашин; – выполнять расчётную оценку газодинамических процессов, теплового и прочностного нагружения узлов и деталей турбомашин; – выбирать материалы, отвечающие требованиям прочности и ресурса; – анализировать технико-экономическое совершенство узлов турбомашин; 	<p>Умеет проводить газодинамические, тепловые и прочностные расчёты двигателей и энергетических установок летательных аппаратов и их элементов с использованием аналитических и численных методов исследования.</p>	Курсовая работа

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-2.4	ИД-3ПК-2.4	Владеет: – навыками построения физических и математических моделей рабочих процессов в узлах турбомашин. – навыками технико-экономического и функционально-стоимостного обоснования расчётных и проектных решений при разработке узлов турбомашин.	Владеет навыками проведения газодинамических, тепловых и прочностных расчётов двигателей и энергетических установок летательных аппаратов и их элементов с использованием аналитических и численных методов исследования с применением современных программных средств и анализа полученных результатов для принятия технических решений.	Защита лабораторной работы

3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		1	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	46	46	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	34	34	
- лабораторные работы (ЛР)	8	8	
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)			
- контроль самостоятельной работы (КСР)	4	4	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	62	62	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36	36	
Дифференцированный зачет			
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)	18	18	
Общая трудоемкость дисциплины	144	144	

4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
1-й семестр				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Основные модели турбомашин и их рабочих процессов	12	2	0	12
<p>Введение Предмет и задачи дисциплины. Основные понятия и определения.</p> <p>Тема 1. Математические средства описания моделей течения и процессов в турбомашинах и их элементах Основная система уравнений для описания трёхмерных нестационарных течений в турбомашине и их элементах: уравнения неразрывности, движения, импульса, момента количества движения, энергии. Интегральные формы основных уравнений в общем виде для одномерного стационарного течения. Прикладные аспекты форм записи и использования основных уравнений применительно к турбомашинам: частные случаи</p> <p>Тема 2. Схемные решения турбомашин Типовые и комбинированные варианты схемных решений и геометрического облика турбомашин. Ключевые параметры турбомашин разных схем и их сравнительный анализ.</p> <p>Тема 3. Параметры для описания геометрических моделей турбомашин и их элементов Геометрические параметры профилей, решёток профилей и лопаточных венцов, их влияние на функциональные свойства и энергетические показатели эффективности турбомашин. Взаимосвязь значений параметров описания геометрических моделей турбомашин с их типами по скоростному диапазону рабочих режимов и нагруженности ступеней.</p> <p>Тема 4. Организация энергетических преобразований и модель термодинамических процессов Компрессорный режим, турбинный режим, режим флюгирования в решётке плоских пластин. Активный и реактивный принцип энергетических преобразований в одной ступени турбомашин. Кинематическая и термодинамическая степени реактивности. Изменение газодинамических и кинематических параметров потока вдоль ступени при различных значениях степени реактивности. Оптимальное распределение удельных работ между вращающимися и неподвижными лопаточными венцами. Диаграммы энергетических преобразований в одной ступени турбомашин в $p-v$ и $T-S$ координатах. Термодинамические основы большей энергетической эффективности процессов в</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
турбинах по сравнению с процессами в компрессорах при одинаковом уровне политропного КПД.				
Энергетическая эффективность турбомашин	8	3	0	15
<p>Тема 5. Энергетические характеристики турбомашин Общая структура потерь энергии в турбомашине. Специфические виды потерь энергии в турбинах. Оптимальные по профильным потерям степень реактивности и коэффициент расхода в ступени осевого компрессора. Потери энергии при транс- и сверхзвуковых скоростях обтекания. Вихревые явления в лопаточных венцах. Модель нулевого уровня для оценки концевых потерь от утечек в радиальном зазоре компрессорной ступени, влияние на неё параметров нагруженности ступени. Одномерная модель оценки потерь в лабиринтных уплотнениях ступени турбины. Разновидности адиабатных коэффициентов полезного действия и зависимость их значений от схемного и параметрического решения отдельных ступеней и турбомашин в целом.</p> <p>Тема 6. Влияние геометрических и кинематических параметров на энергетическую эффективность турбомашин Влияние основных геометрических размеров профиля и межлопаточного канала на профильные потери энергии в решётке профилей. Влияние формы обводов профиля на качество обтекания профиля, безотрывность обтекания и теплообмен с потоком. Предотвращение появления стоячих зон Гертлера. Учёт влияния механической и тепловой нагруженности, требований ресурса на геометрические параметры профиля. Выбор потребной густоты диффузорных компрессорных решёток, обеспечивающей компромисс между требованиями минимизации потерь энергии и обеспечения допустимого запаса газодинамической устойчивости. Оптимальная и конструктивная густота конфузорной турбинной решётки. Влияние угла атаки на потери и на газодинамическую устойчивость, оптимальные углы атаки. Совместная оптимизация угла атаки и густоты решёток с учётом верности лопаточных венцов и вихревых (вторичных) потерь. Совместное влияние степени реактивности и отношения окружной скорости вращения колеса и скорости истечения из соплового аппарата турбины</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
на потери на среднем диаметре ротора турбины.				
Пространственное профилирование лопаток и их решёток	2	1	0	16
Тема 8. Многоступенчатые турбомашин Физические основы газодинамических, прочностных и ресурсных ограничений на параметры одноступенчатых турбомашин. Необходимость применения многоступенчатых лопаточных машин. Анализ термодинамики многоступенчатых лопаточных машин с помощью р-ν и Т-S диаграмм. Сравнительный анализ энергетической эффективности компрессоров и турбин, влияние на неё степени повышения/понижения давления в многоступенчатых турбомашин. Перспективы развития компрессоров и турбин для газотурбинных двигателей пятого поколения. Особенности изменения параметров потока вдоль многоступенчатых турбин. Турбины со ступенями скорости и со ступенями давления. Параметр Парсонса для многоступенчатых турбин. Тема 9. Центробежные компрессоры Математическое описание газодинамических процессов в центробежных компрессорах. Особенности геометрических моделей низко- и высоконапорных центробежных компрессоров.				
Многоступенчатые и радиальные турбомашин	6	2	0	12
Тема 8. Многоступенчатые турбомашин Физические основы газодинамических, прочностных и ресурсных ограничений на параметры одноступенчатых турбомашин. Необходимость применения многоступенчатых лопаточных машин. Анализ термодинамики многоступенчатых лопаточных машин с помощью р-ν и Т-S диаграмм. Сравнительный анализ энергетической эффективности компрессоров и турбин, влияние на неё степени повышения/понижения давления в многоступенчатых турбомашин. Перспективы развития компрессоров и турбин для газотурбинных двигателей пятого поколения. Особенности изменения параметров потока вдоль многоступенчатых турбин. Турбины со ступенями скорости и со ступенями давления. Параметр Парсонса для многоступенчатых турбин. Тема 9. Центробежные компрессоры Математическое описание газодинамических процессов в центробежных компрессорах. Особенности геометрических моделей низко- и высоконапорных центробежных компрессоров.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>Характеристики доплатных машин</p> <p>Тема 10. Устойчивость работы и характеристики компрессора</p> <p>Математическая модель работы компрессора с присоединённым объёмом, потеря устойчивости рабочего процесса.</p> <p>Физические основы процесса и условия потери газодинамической устойчивости. Модель изменения параметров состояния рабочего тела, кинематических параметров потока и параметров компрессора при снижении частоты вращения ниже расчётной.</p> <p>Рассогласование работы отдельных ступеней по расходным характеристикам. Потеря газодинамической устойчивости при превышении частоты вращения над расчётной величиной.</p> <p>Влияние на газодинамическую устойчивость характеристик присоединённого объёма, его рабочего процесса на переходных режимах работы системы «компрессор – потребитель».</p> <p>Физическая модель влияния расхода воздуха на входе на основные параметры ступеней и компрессора в целом при постоянной частоте вращения. Энергетическая и напорная характеристики компрессоров при переменной частоте вращения ротора.</p> <p>Способы обеспечения газодинамической устойчивости компрессоров на нерасчетных режимах.</p> <p>Параметрическая модель – на базе характеристик компрессора – развития неустойчивой работы. Критерии условий потери газодинамической устойчивости.</p> <p>Тема 11. Характеристики турбины. Совместная работа турбины и компрессора</p> <p>Зависимость энергетических и расходных параметров турбины от степени понижения полного давления при постоянной частоте вращения. Модель совместной работы турбины и компрессора.</p>	6	0	0	7
ИТОГО по 1-му семестру	34	8	0	62
ИТОГО по дисциплине	34	8	0	62

Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Изучение этапов параметрического развития компрессоров и кон-структивной реализации принципа работы, связи параметров и кон-структивных решений

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
2	Изучение этапов параметрического развития турбин и конструктив-ной реализации принципа работы, связи параметров и конструктив-ных решений
3	Разработка модели стационарных процессов в компрессоре и её экс-периментальная проверка
4	Изучение режимов и областей устойчивости работы компрессора

Тематика примерных курсовых проектов/работ

№ п.п.	Наименование темы курсовых проектов/работ
1	«Расчет и проектирование компрессора двигателя или энергетической установки определенного заданием типа»
2	«Расчет и проектирование турбины двигателя или энергетической установки определенного заданием типа»

5. Организационно-педагогические условия

5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установления связей с ранее освоенным материалом.

Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором обучающиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности обучающихся на достижение целей занятия.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
1. Основная литература		
1	Августинович В. Г. Математическое моделирование авиационных двигателей : учебное пособие / В. Г. Августинович. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008.	48
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
1	Белоусов А.Н. Теория и расчет авиационных лопаточных машин : учебник для вузов / А.Н. Белоусов , Н.Ф. Мусаткин, В.М. Радько. - Самара: Изд-во СамГАУ, 2003.	93
2	Казанджан П. К. Теория авиационных двигателей. Теория лопаточных машин : учебник для вузов / П. К. Казанджан, Н. Д. Тихонов, А. К. Янко. - Москва: Машиностроение, 1983.	6
3	Локай В. И. Газовые турбины двигателей летательных аппаратов. Теория, конструкция и расчет : учебник для вузов / В. И. Локай, М. К. МаксUTOва, В. А. Стрункин. - Москва: Машиностроение, 1979.	3
4	Проектный термогазодинамический расчет основных параметров авиационных лопаточных машин : учебное пособие для вузов / А.Н. Белоусов [и др.]. - Самара: Изд-во СамГАУ, 2006.	95
5	Холщевников К. В. Теория и расчет авиационных лопаточных машин : учебник для вузов / К. В. Холщевников. - Москва: Машиностроение, 1970.	1
2.2. Периодические издания		
1	Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника / Пермский национальный исследовательский политехнический университет ; Под ред. В. Ю. Петрова ; Р. В. Бульбовича. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012 -.	
2.3. Нормативно-технические издания		
	Не используется	
3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины		
	Не используется	
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента		
	Не используется	

6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника, гл. ред. Бульбоивч Р.В., 2015-2019, №№40-59	http://vestnik.pstu.ru/aero/about/inf/	сеть Интернет; свободный доступ

6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017

6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных Elsevier "Freedom Collection"	https://www.elsevier.com/
База данных Scopus	https://www.scopus.com/
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	http://lib.pstu.ru/
Электронно-библиотечная система Лань	https://e.lanbook.com/
Электронно-библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru/
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	http://www.consultant.ru/

7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Курсовая работа	Лекционная аудитория, ауд. 201, кафедра АД, к. Г	1
Лабораторная работа	Лаборатория учебная, ауд. 211, кафедра АД, к. Г	1
Лабораторная работа	Мультимедийная аудитория (класс конструкции), ауд. 111, кафедра АД, к. Г	1
Лекция	Лекционная аудитория, ауд. 201, кафедра АД, к. Г	1

8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе