

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

« 17 » февраля 20\_\_ г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Прикладная гидрогазодинамика газотурбинных установок  
(наименование)

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

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

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

**Направление подготовки:** 13.04.03 Энергетическое машиностроение  
(код и наименование направления)

**Направленность:** Газотурбинные и паротурбинные установки и двигатели  
(наименование образовательной программы)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

Целью дисциплины является формирование профессиональных компетенций, связанных с гидрогазодинамическими процессами, протекающими в основных частях и элементах ГТУ; получение студентами углублённых знаний в области гидрогазодинамики и приобретение навыков их использовать для повышения эффективности и надёжности работы ГТУ; формирование способности находить творческие, нестандартные решения гидрогазодинамических задач, используя при этом современные компьютерные и информационные технологии.

Задачи дисциплины:

- изучение основных понятий определений и уравнений гидрогазодинамики;
- изучение основ гидродинамической теории решёток;
- освоение методологии гидрогазодинамического расчёта элементов газотурбинных установок;
- формирование навыков оптимизации гидрогазодинамических параметров элементов ГТУ и определение путей повышения их эффективности и надёжности.

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- гидрогазодинамические потоки в элементах ГТУ: компрессоре, турбине, теплообменниках и трубопроводах;
- гидрогазодинамические процессы в ГТУ;
- методы анализа и оптимизации гидрогазодинамических процессов в ГТУ;
- методология проектирования основных элементов газотурбинных 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
-------------	-------------------	---	--	-----------------

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-2.1	ИД-1ПК-2.1	Знать: – основные понятия определения и уравнения гидрогазодинамики; – основы гидродинамической теории решёток; – методологию гидрогазодинамического расчёта элементов ГТУ с помощью современных компьютерных и информационных технологий; – методы оптимизации гидрогазодинамических параметров элементов ГТУ, определение путей повышения их эффективности и надёжности.	Знает теоретические основы рабочих процессов в газотурбинных установках (ГТУ) и газоперекачивающих агрегатах (ГПА), основные термодинамические циклы и способы регулирования ГТУ при переменном режиме их работы, методологию гидрогазодинамического расчёта элементов ГТУ, методы расчётов термодинамических процессов ГТУ, современные технологии проектирования для разработки конкурентоспособных энергетических установок с прогрессивными показателями качества, тенденции развития энергетического машиностроения.	Экзамен
ПК-2.1	ИД-2ПК-2.1	Уметь: – формулировать критерии и направления оптимизации гидрогазодинамических процессов; – формулировать конструкторские мероприятия, направленные на обеспечение гидрогазодинамической эффективности и надёжности элементов ГТУ	Умеет выполнять термо-прочностные, тепловые и газодинамические расчёты с использованием современных пакетов; формировать результаты научных достижений в технические предложения по совершенствованию работы ГТУ и ГПА, анализировать современные достижения в области энергетики для практических рекомендаций по доработке ГТУ и ГПА.	Защита лабораторной работы
ПК-2.1	ИД-3ПК-2.1	Владеть: - методами анализа мероприятий, направленных на повышение гидрогазодинамической эффективности и надёжности элементов ГТУ;	Владеет методами анализа мероприятий, направленных на повышение гидрогазодинамической эффективности и надёжности элементов ГТУ и принятия конкретных технических	Защита лабораторной работы

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		- перспективными методиками исследования гидрогазодинамических процессов в ГТУ и повышением их эффективности с помощью современных компьютерных и информационных технологий.	решений при доработке конструкции ГТУ и ГПА.	

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		2	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	54	54	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	16	16	
- лабораторные работы (ЛР)	36	36	
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)			
- контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	54	54	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36	36	
Дифференцированный зачет			
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
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	
2-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
Основы гидрогазодинамики	6	0	0	12
<p>Введение. Основные элементы ГТУ и гидрогазодинамические процессы, проходящие в них. Связь гидрогазодинамики ГТУ с другими дисциплинами. Основные задачи прикладной гидрогазодинамики газотурбинных установок.</p> <p>Тема 1. Основные понятия и определения гидрогазодинамики</p> <p>Свойства жидкостей и газов. Сжимаемость. Вязкость. Сжимаемая и несжимаемая жидкость. Вязкая и невязкая жидкость (идеальная жидкость). Ньютоновская и неньютоновская жидкость. Сплошность среды. Элементарный объём, элементарная струйка, линии тока, трубка тока. Методы изучения движения жидкости (Лагранжев и Эйлеров подходы). Ламинарное и турбулентное движения жидкости.</p> <p>Тема 2. Сведения из математики и термодинамики. Основные уравнения гидрогазодинамики</p> <p>Основные математические понятия: скалярная, векторная и тензорные величины; векторные операторы и действия с ними; полная, локальная и конвективные производные. Основные термодинамические понятия и соотношения: внутренняя энергия, энтальпия, энтропия; теплота, работа, теплоёмкость параметры состояния, уравнение состояния. Первый и второй законы термодинамики. Основные уравнения гидрогазодинамики: неразрывности, движения идеальной жидкости (уравнение Эйлера), движения вязкой жидкости (уравнение Навье-Стокса), энергии.</p>				
Виды движений жидкости	6	14	0	16
<p>Тема 3. Одномерные движения</p> <p>Основные уравнения одномерного потока. Статические и динамические параметры. Скорость звука. Характерные скорости и относительные параметры течения. Газодинамические функции. Одномерные течения при различных воздействиях на поток. Закон обращения воздействия. Приведение технических задач к одномерной схеме. Течения газа в диффузорах и соплах.</p> <p>Тема 4. Плоские движения идеальной жидкости</p> <p>Вихревое и безвихревое движения. Теорема Стокса. Потенциальные течения. Примеры потенциальных потоков. Комплексные потенциалы элементарных потоков. Воздействие плоского потока на крыло. Теорема Жуковского. Подъёмная сила крыла. Формула Жуковского. Плоское сверхзвуковое течение газа. Метод характеристик. Профилирование плоского сопла Лавалья.</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
Тема 5. Осесимметричные течения идеальной жидкости Уравнения неразрывности, движения и завихрённости в цилиндрических координатах. Граничные условия. Осесимметричное установившееся движение. Точные решения для осесимметричных закрученных потоков. Течение в конической трубе.				
Гидродинамическая теория решёток	2	18	0	18
Тема 6. Основы гидродинамической теории решёток Расчёт обтекания решёток плоским потенциальным потоком. Прямая задача: построение потока, обтекающего решётку заданного профиля. Обратная задача: построение профиля решётки по заданному распределению скорости по профилю решётки. Формула Жуковского для определения силы, действующей на профиль в решётке. Тема 7. Эквивалентные решётки пластин Эквивалентные решётки пластин. Обтекание решётки прямолинейных пластин: 1) потоком, совпадающим с направлением плоских профилей, 2) потоком, перпендикулярным направлению плоских профилей, 3) циркуляционным потоком вокруг профилей. Произвольное обтекание решётки прямолинейных пластин.				
Аэродинамические характеристики решётки	2	4	0	8
Тема 8. Характеристики решёток Коэффициенты расхода, скорости, полезного действия и средний угол выхода потока. Коэффициент потерь решётки (профильные). Потери трения, кромочные потери. Концевые потери. Тема 9. Метод определения аэродинамических характеристик Экспериментальный метод определения аэродинамических характеристик. Угол атаки, угол поворота и критическое число Маха для осевого компрессора. Приближённый расчёт характеристик решёток.				
ИТОГО по 2-му семестру	16	36	0	54
ИТОГО по дисциплине	16	36	0	54

#### Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
--------	---------------------------------------

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Анализ течения газа в сопле Лавалья
2	Расчёт подъёмной силы крыла в плоском потоке несжимаемой жидкости
3	Профилирование сопла Лавалья
4	Анализ осесимметричных закрученных потоков идеальной жидкости
5	Анализ течения идеальной жидкости в конической трубе
6	Построение потока идеальной жидкости, обтекающей решётку заданного профиля
7	Построение профиля решётки по заданному распределению скорости
8	Обтекание решётки прямолинейных пластин, циркуляционным потоком вокруг профилей
9	Произвольное обтекание решётки прямолинейных пластин
10	Приближённый расчёт характеристик решёток

## 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
<b>1. Основная литература</b>		
1	Газотурбинные энергетические установки : учебное пособие для вузов / С. В. Цанев [и др.]. - Москва: Издат. дом МЭИ, 2011.	12
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика : учебник для вузов / Г. Н. Абрамович. - Москва: Наука, Физматлит, 1976.	30
2	Самойлович Г. С. Газодинамика : учебник для вузов / Г. С. Самойлович. - Москва: Машиностроение, 1990.	12
<b>2.2. Периодические издания</b>		
1	Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника / Пермский национальный исследовательский политехнический университет ; Под ред. В. Ю. Петрова ; Р. В. Бульбовича. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012 -.	
<b>2.3. Нормативно-технические издания</b>		
	Не используется	
<b>3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины</b>		
	Не используется	
<b>4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента</b>		
	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	Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика : учебник для вузов	<a href="http://elib.pstu.ru/vufind/Record/RUPNRPuelib3432">http://elib.pstu.ru/vufind/Record/RUPNRPuelib3432</a>	сеть Интернет; авторизованный 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)



Вид ПО	Наименование ПО
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	ANSYS (лиц. 1062978 )

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

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных Scopus	<a href="https://www.scopus.com/">https://www.scopus.com/</a>
База данных Springer Nature e-books	<a href="http://link.springer.com/">http://link.springer.com/</a> <a href="http://jwww.springerprotocols.com/">http://jwww.springerprotocols.com/</a> <a href="http://materials.springer.com/">http://materials.springer.com/</a> <a href="http://zbmath.org/">http://zbmath.org/</a> <a href="http://npg.com/">http://npg.com/</a>
База данных Web of Science	<a href="http://www.webofscience.com/">http://www.webofscience.com/</a>
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	<a href="http://lib.pstu.ru/">http://lib.pstu.ru/</a>
Электронно-библиотечная система Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Электронно-библиотечная система IPRbooks	<a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>

#### **7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине**

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лабораторная работа	Компьютеры	12
Лекция	Компьютер	1
Лекция	Проектор	1

#### **8. Фонд оценочных средств дисциплины**

Описан в отдельном документе
------------------------------