

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



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 06 » марта 20 23 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
1. Основная литература		
1	Газотурбинные энергетические установки : учебное пособие для вузов / С. В. Цанев [и др.]. - Москва: Издат. дом МЭИ, 2011.	12
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
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
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	Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика : учебник для вузов	http://elib.pstu.ru/vufind/Record/RUPNRPuelib3432	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	https://www.scopus.com/
База данных Springer Nature e-books	http://link.springer.com/ http://jwww.springerprotocols.com/ http://materials.springer.com/ http://zbmath.org/ http://npg.com/
База данных Web of Science	http://www.webofscience.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
Лабораторная работа	Компьютеры	12
Лекция	Компьютер	1
Лекция	Проектор	1

8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине
«Прикладная гидрогазодинамика газотурбинных установок»
Приложение к рабочей программе дисциплины

Направление подготовки:	13.04.03 Энергетическое машиностроение
Направленность (профиль) образовательной программы:	Газотурбинные и паротурбинные установки и двигатели
Квалификация выпускника:	магистр
Выпускающая кафедра:	Ракетно-космическая техника и энергетические системы
Форма обучения:	очная

Курс: 1

Семестр: 2

Трудоёмкость:

Кредитов по рабочему учебному плану:	4 ЗЕ
Часов по рабочему учебному плану:	144 ч.

Форма промежуточной аттестации:

Экзамен: 2 семестр.

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля

Согласно РПД, освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (2-го семестра учебного плана) и разбито на 4 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные, практические и лабораторные занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, сдаче отчетов по лабораторным работам и зачета. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля				
	Текущий		Рубежный		Итоговый
	С	ТО	ОЛР	Т/КР	Экзамен
Усвоенные знания					
З.1 - знает основные понятия, определения и уравнения гидрогазодинамики, методологию гидрогазодинамического расчёта элементов ГТУ	С1	ТО1 ТО2		КР1 КР2	ТВ
Освоенные умения					
У.1 - умеет формулировать критерии оптимизации гидрогазодинамических процессов и конструкторские мероприятия, направленные на обеспечение гидрогазодинамической эффективности элементов ГТУ			ОЛР1 ОЛР2 ОЛР3 ОЛР4	КР3 КР4	КЗ
Приобретенные владения					
В.1 - владеет методами расчёта и анализа мероприятий, направленных на повышение эффективности гидрогазодинамических процессов и надёжности ГТУ.			ОЛР5 ОЛР6		КЗ

С – собеседование по теме; ТО – коллоквиум (теоретический опрос); КЗ – кейс-задача (индивидуальное задание); ОЛР – отчет по лабораторной работе; Т/КР – рубежное тестирование (контрольная работа); ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание; КЗ – комплексное задание дифференцированного зачета.

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде дифференцированного зачета, проводимая с учетом результатов текущего и рубежного контроля.

2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

– входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучаемого и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;

– текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;

– промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланчного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по лабораторным работам, рефератов, эссе и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

– межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;

– контроль остаточных знаний.

2.1 Текущий контроль усвоения материала

Текущий контроль усвоения материала в форме собеседования или выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

2.2. Рубежный контроль

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме защиты лабораторных работ и рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

2.2.1 Защита лабораторных работ

Всего запланировано 10 лабораторных работ. Типовые темы лабораторных работ приведены в РПД.

Защита лабораторной работы проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.2.2 Рубежная контрольная работа

Согласно РПД запланировано 4 рубежные контрольные работы (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины. Первая КР – по модулю 1 «Основы гидрогазодинамики», вторая КР – по модулю 2 «Виды движения жидкости», третья КР – по модулю 3 «Гидродинамическая теория решёток», четвёртая КР – по модулю 4 «Аэродинамические характеристики решётки».

Типовые задания первой КР:

1. Описать основные понятия и определения гидрогазодинамики.
2. Рассмотреть методы изучения движения жидкости (Лагранжев и Эйлеров подходы).
3. Описать основные математические понятия: скалярная, векторная и тензорные величины; векторные операторы.
4. Рассмотреть основные термодинамические понятия и соотношения, первый закон термодинамики для газовых потоков.
5. Написать основные уравнения гидрогазодинамики.

Типовые задания второй КР:

1. Рассмотреть одномерные движения газа.
2. Описать одномерные течения при различных воздействиях на поток.
3. Рассмотреть потенциальное и вихревое движения жидкости.
4. Рассмотреть плоские движения идеальной жидкости
5. Описать хорошо обтекаемые тела, крыловой профиль.
6. Описать воздействие плоского потока на крыло.

Типовые задания третьей КР:

1. Рассмотреть основные понятия гидродинамической теории решёток.
2. Описать эквивалентные решётки пластин.
3. Рассмотреть обтекание решётки прямолинейных пластин потоком, совпадающим с направлением плоских профилей.
4. Рассмотреть обтекание решётки прямолинейных пластин потоком, перпендикулярным направлению плоских профилей.

5. Рассмотреть произвольное обтекание решётки прямолинейных пластин

Типовые задания четвёртой КР:

1. Описать характеристики решёток осевой турбины и осевого компрессора: коэффициенты расхода, скорости и полезного действия.

2. Рассмотреть профильные потери решётки: потери трения, кромочные потери.

3. Рассмотреть концевые потери решётки: вторичные потери и потери в радиальном зазоре.

4. Описать влияние режима обтекания решёток профилей на профильные потери (влияние числа Рейнольдса и числа Маха).

5. Описать влияние на профильные потери угла атаки и шероховатости поверхностей лопаток.

Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежной контрольной работы приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.3. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех практических и лабораторных работ и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

Промежуточная аттестация, согласно РПД, проводится в виде экзамена по дисциплине устно по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки освоенных умений и комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности *всех* заявленных компетенций. Форма билета представлена в общей части ФОС образовательной программы.

2.3.1. Типовые вопросы и задания для экзамена по дисциплине

Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:

1. Основные понятия и определения гидрогазодинамики.
2. Основные уравнения гидрогазодинамики.
3. Одномерные движения газа.
4. Одномерные течения при различных воздействиях на поток.
5. Потенциальное и вихревое движения газа.
6. Газодинамические функции.
7. Приведение технических задач к одномерной схеме.
8. Течения газа в диффузорах и соплах.
9. Хорошо обтекаемые тела, крыловой профиль.
10. Подъёмная сила крыла. Формула Жуковского.

Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений:

1. Преобразовать выражение $\operatorname{div} \operatorname{grad} T$.
2. Преобразовать скалярное произведение векторного оператора Набла само на себя ($\nabla \cdot \nabla$) в декартовой системе координат.
3. Расписать по компонентам конвективную производную скорости $(\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v}$ в Декартовой системе координат.
4. Расписать скалярное произведение оператора Набла и вектора скорости $(\nabla \cdot \mathbf{v})$ в Декартовой системе координат.
5. Выразить полную производную по времени d/dt через локальную и конвективные производные в Декартовой системе координат.
6. Установить связь между числом Маха и приведённой скоростью потока газа.
7. Установить связь между числом Маха и относительной скоростью потока газа.
8. Установить связь между приведённой и относительной скоростью потока газа.
9. Определить скорость звука и критическую скорость в воздухе с температурой 500 K .
10. Определить максимальное значение скорости для воздуха с температурой 600 K .

Типовые комплексные задания для контроля приобретенных владений:

1. Определить относительную потерю кинетической энергии при смешении двух потоков воздуха с массовыми расходами $G_1=1 \text{ кг/с}$, $G_2=4 \text{ кг/с}$ и соответственно скоростями $v_1=20 \text{ м/с}$, $v_2=10 \text{ м/с}$.
2. Определить температуру воздуха за компрессором T_k , если степень повышения давления в нём $\pi_k=10$, к.п.д. равен $0,8$, а температура воздуха на входе $T_0=300 \text{ K}$.
3. Определить температуру газа после турбины $T_{\text{вых}}$, если степень понижения давления в ней $\pi_T=10$, к.п.д. равен $0,83$, температура на входе $T_{\text{вх}}=1700 \text{ K}$, а коэффициент адиабаты $k=1,33$.
4. Определить критерии Прандтля и Рейнольдса в критическом сечении сопла при заданном составе топлива и параметрах потока.
5. Провести расчёт подъёмной силы крыла в плоском потоке несжимаемой жидкости.

Полный перечень теоретических вопросов и практических заданий в форме утвержденного комплекта экзаменационных билетов хранится на выпускающей кафедре.

2.3.2 Шкалы оценивания результатов обучения на экзамене

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных дисциплинарных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания путем выборочного контроля во время экзамена.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче экзамена для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы.

3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов компетенций

3.1 Оценка уровня сформированности компонентов компетенций

При оценке уровня сформированности компетенций в рамках выборочного контроля при экзамене считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Типовые критерии и шкалы оценивания уровня сформированности компонентов дисциплинарных компетенций приведены в общей части ФОС образовательной программы.

3.2 Оценка уровня сформированности компетенций

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде экзамена используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.