

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: Теория подобия и моделирования физических процессов
(наименование)

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

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

Общая трудоёмкость: 180 (5)
(часы (ЗЕ))

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

Направленность: Аэродинамика, гидродинамика и процессы теплообмена
двигателей летательных аппаратов
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель - формирование комплекса знаний, умений и навыков применения основных положений теории подобия и моделирования физических процессов при проведении экспериментальных исследований в области двигателестроения летательных аппаратов.

Задачи:

- изучение основных положений теории размерности, подобия и моделирования;
- формирование умения применять анализ размерностей физических величин для проверки правильности выведенных формул и установления функциональной связи между физическими величинами, находить критерии подобия объектов, составлять критериальные уравнения;
- формирование навыков применения теорем подобия для установления подобия объектов и решения практических задач физического моделирования процессов.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- основные понятия и определения теории подобия и моделирования: подобие, модель, моделирование, виды подобия, виды моделей;
- общие сведения о физических величинах и их размерностях: физическая величина, размер, значение, числовое значение, уравнение связи, размерность, системы физических величин;
- практическое использование понятия размерности физической величины: анализ размерностей, проверка правильности выведенных формул, установление функциональной связи между физическими величинами, составление критериальных уравнений;
- установление подобия объектов: теоремы подобия и дополнительные положения о подобии, определение критериев подобия путем анализа уравнений и путем анализа размерностей;
- подобие и моделирование потоков жидкости: геометрическое, кинематическое и динамическое подобие потоков, установление критериев подобия на основе анализа уравнения Навье-Стокса;
- подобие центробежных насосов: геометрическое, кинематическое и динамическое подобие в насосах, критерии подобия, соотношения для пересчета параметров центробежных насосов;
- ускоренные испытания гидравлических устройств как физическое моделирование испытаний в нормальных условиях, критерии подобия, условия эквивалентности испытаний;
- этапы математического моделирования: постановка задачи, разработка расчетной схемы, составление математической модели, идентификация математической модели.

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-1.1	ИД-1ПК-1.1	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основные понятия, термины и определения теории подобия и моделирования; - виды подобия и виды моделей; - понятия размера, значения, числового значения и размерности физической величины; - понятия уравнения связи, безразмерной величины, системы физических величин; - сущность метода анализа размерностей и его применение для проверки правильности выведенных формул, установления функциональных зависимостей между физическими величинами и составления критериальных уравнений; - теоремы подобия и дополнительные положения о подобии сложных, нелинейных и анизотропных систем; - способы определения критериев подобия (анализ уравнений, анализ размерностей). 	Знает теоретические основы рабочих процессов в ракетных двигателях.	Экзамен
ПК-1.1	ИД-2ПК-1.1	<p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> – применять анализ размерностей физических величин для проверки формул и уравнений, полученных в ходе теоретических выводов; – использовать анализ размерностей для установления функциональной связи между физическими величинами; – находить критерии 	Умеет пользоваться современными вычислительными пакетами для моделирования рабочих процессов в ракетных двигателях и их агрегатах.	Экзамен

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		подобия объектов путем анализа размерностей физических величин, составлять критериальные уравнения		
ПК-1.1	ИД-ЗПК-1.1	Владеет методикой установления подобия объектов.	Владеет навыками постановки исследовательских задач, планирования и проведения вычислений, анализа и обобщения результатов моделирования при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ при проектировании ракетных двигателей.	Экзамен

3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		2	3
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	54	27	27
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	18	9	9
- лабораторные работы (ЛР)	16		16
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	16	16	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	4	2	2
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	90	45	45
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36		36
Дифференцированный зачет			
Зачет	9	9	
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	180	72	108

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
2-й семестр				
Общие сведения о подобии и моделировании	2	0	0	10
Основные понятия и определения: подобие, модель. Виды подобия: физическое, математическое, структурное, функциональное, вероятностное. Точное, приближенное, полное, неполное подобие. Виды моделей: физическая, математическая, структурная, функциональная, вероятностная.				
Общие сведения о физических величинах и их размерностях	2	0	4	10
Физическая величина. Размер и значение. Числовое значение. Уравнение связи. Размерность физической величины. Система физических величин. Безразмерная величина.				
Практическое использование понятия размерности физической величины	2	0	6	10
Анализ размерностей. Проверка правильности формул и уравнений, полученных в ходе теоретических выводов. Установление функциональной связи между физическими величинами. Составление критериальных уравнений.				
Установление подобия объектов	3	0	6	15
Теоремы подобия и дополнительные положения о подобии сложных, нелинейных и анизотропных систем. Определение критериев подобия путем анализа уравнений, описывающих подобные объекты, и путем анализа размерностей физических величин, характеризующих подобные объекты.				
ИТОГО по 2-му семестру	9	0	16	45
3-й семестр				
Подобие и моделирование потоков жидкости	2	8	0	10
Геометрическое, кинематическое и динамическое подобие потоков. Критерии подобия. Их физический смысл. Установление критериев подобия потоков жидкости на основе анализа уравнений Навье-Стокса.				
Подобие центробежных насосов	3	8	0	15
Геометрическое, кинематическое и динамическое подобие в насосах. Критерии подобия. Соотношения для пересчета параметров центробежных насосов.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Ускоренные ресурсные испытания гидроустройств	2	0	0	10
Ускоренные испытания как физическое моделирование испытаний в нормальных условиях. Критерии подобия (условия эквивалентности) испытаний.				
Общие сведения о математическом моделировании	2	0	0	10
Этапы математического моделирования: постановка задачи; разработка расчет-ной схемы; составление математической модели; идентификация математической модели.				
ИТОГО по 3-му семестру	9	16	0	45
ИТОГО по дисциплине	18	16	16	90

Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Установление функциональной связи между физическими величинами на основе анализа размерностей
2	Составление критериальных уравнений
3	Определение критериев подобия с помощью анализа уравнения, описывающих подобные объекты
4	Применение теорем подобия и дополнительных положений для установления подобия физических объектов
5	Установление подобия потоков жидкости. Определение параметров потока-модели
6	Пересчёт параметров подобных центробежных насосов
7	Составление математической модели клапанного устройства. Идентификация параметров модели: жесткости упругих элементов, коэффициента поглощения

Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Физическое моделирование потока жидкости в трубе переменного сечения.
2	Исследование подобных режимов центробежных насосов.

5. Организационно-педагогические условия

5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором 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 установление связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

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 практическим занятиям, 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	Гидравлика, гидромашин и гидроприводы : учебник для вузов / Т. М. Башта [и др.]. - Москва: Альянс, 2010.	156
2	Набока Е. М. Основы теории подобия и моделирования физических процессов : учебное пособие / Е. М. Набока, А. И. Квашнин, А. В. Горбунов. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2018.	5
2. Дополнительная литература		

2.1. Учебные и научные издания		
1	Веников В. А. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики) : учебник для вузов / В. А. Веников, Г. В. Веников. - Москва: Высш. шк., 1984.	14
2	Поляков В. В. Насосы и вентиляторы : учебник для вузов / В. В. Поляков, Л. С. Скворцов. - Москва: Стройиздат, 1990.	30
2.2. Периодические издания		
	Не используется	
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	Крамаренко, Н.В. Ме-тоды подобия в механике. Анализ уравнений : учебное. пособие	https://e.lanbook.com/book/18432	сеть Интернет; авторизованный доступ
Основная литература	Набока Е. М. Основы теории подобия и моделирования физических процессов : учебное пособие	http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib6191	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)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
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 Scopus	https://www.scopus.com/

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
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	Учебная установка: Гидродинамика ГД-06	1
Лабораторная работа	Учебная установка: Гидромеханика ГМ-02м	1
Лекция	Компьютер	1
Лекция	Проектор	1
Практическое занятие	Компьютеры	12

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
«Теория подобия и моделирования физических процессов»
Приложение к рабочей программе дисциплины

Направление подготовки:	24.04.05 Двигатели летательных аппаратов	
Направленность (профиль) образовательной программы:	Аэродинамика, гидродинамика и процессы теплообмена двигателей летательных аппаратов	
Квалификация выпускника:	магистр	
Выпускающая кафедра:	Ракетно-космическая техника и энергетические системы	
Форма обучения:	Очная	
Курс: 1,2		Семестр: 2,3
Трудоёмкость:		
Кредитов по рабочему учебному плану:		5 ЗЕ
Часов по рабочему учебному плану:		180 ч.
Форма промежуточной аттестации:		
зачет: 2 семестр; экзамен: 3 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 двух семестров (2-го и 3-го семестра учебного плана) и разбито на 8 учебных модулей. В каждом семестре осваивается по 4 модуля. В первом модуле предусмотрены аудиторские лекционные, практические занятия, а также самостоятельная работа студентов. Во втором модуле предусмотрены аудиторские лекционные, 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 (таблица. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, сдаче отчетов по лабораторным работам, зачета и экзамена. 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		зачёт экзамен
Усвоенные знания						
3.1 Знает: -основные понятия, термины и определения теории подобия и моделирования; - виды подобия и виды моделей; - понятия размера, значения, числового значения и размерности физической величины; - понятия уравнения связи. безразмерной величины, системы физических величин; - сущность метода анализа размерностей и его применение для проверки правильности выведенных формул, установления функциональных зависимостей между физическими величинами и составления критериальных уравнений; - теоремы подобия и дополнительные положения о подобии сложных, нелинейных и анизотропных систем;	С1-8	ТО1-8		КР1-4		ТВ

- способы определения критериев подобия (анализ уравнений, анализ размерностей)						
Освоенные умения						
У.1 Умеет: - применять анализ размерностей физических величин для проверки формул и уравнений, полученных в ходе теоретических выводов; - использовать анализ размерностей для установления функциональной связи между физическими величинами; - находить критерии подобия объектов путем анализа размерностей физических величин, составлять критериальные уравнения			ОЛР1-2	КР1-4		ПЗ
Приобретенные владения						
В.1 Владеет методикой установления подобия объектов			ОЛР--2			КЗ зачёт экзамен

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 зачета, проводимая с учётом 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 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

Во 2 семестре рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений (таблица 1.1) проводится в форме 2 рубежных контрольных работ.

В 3 семестре рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений (таблица 1.1) проводится в форме защиты лабораторных работ и 2 рубежных контрольных работ.

2.2.1. Защита лабораторных работ

В 3-ем семестре запланировано 2 лабораторных работы. 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 запланированы 4 рубежные контрольные работы (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины. Во втором семестре запланированы 2 КР: первая КР по модулю 2 «Общие сведения о физических величинах и их размерностях», вторая КР – по модулю 3 «Практическое использование понятия размерности физической величины».

В третьем семестре также запланированы 2 рубежные КР; третья КР по модулю 5 «Подобие и моделирование потоков жидкости», четвертая КР – по модулю 6 «Подобие центробежных насосов»,

Типовые задания первой КР:

1. Приведите пример физической величины. Определите её размерность.
2. Какте виды подобия Вам известны?
3. Назовите два подхода для установления подобия.
4. Сформулируйте π -теорему.
5. Как определить количество критериев подобия для некоторой функциональной зависимости?

Типовые задания второй КР:

1. Установите размерность предложенной физической величины в системе величин механики *ЛМТ*.
2. Проверьте правильность написания предложенной Вам формулы.
3. Проведите оценку возможности использования предложенных физических величин в качестве основных.

Типовые задания третьей КР:

1. Сформируйте список физических величин, описывающих предложенную физическую модель явления.
2. Назовите критерии, характеризующие гидродинамическое течение.
3. Какие силы в процессе течения характеризует тот или иной критерий?

Типовые задания четвёртой КР:

1. Какие соотношения должны быть выдержаны для подобных центробежных насосов.
2. Число оборотов центробежного насоса изменилось в n раз. Во сколько раз изменится расход, напор и мощность центробежного насоса.
3. Какие допущения принимаются при использовании формул пропорциональности для центробежных машин?

2.3. Выполнение комплексного индивидуального задания на самостоятельную работу

Для оценивания навыков и опыта деятельности (владения), как результата обучения по дисциплине, не имеющей курсового проекта или работы, используется индивидуальное комплексное задание студенту.

Типовые шкала и критерии оценки результатов защиты индивидуального комплексного задания приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.4. Промежуточная аттестация

Допуск к промежуточной аттестации во 2 семестре осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех лабораторных работ и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

2.4.1. Процедура промежуточной аттестации без дополнительного аттестационного испытания

Промежуточная аттестация во 2 семестре проводится в форме зачета. Зачет по дисциплине основывается на результатах выполнения предыдущих индивидуальных заданий студента по данной дисциплине.

Критерии выведения итоговой оценки за компоненты компетенций при проведении промежуточной аттестации в виде зачета приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.4.2. Процедура промежуточной аттестации с проведением аттестационного испытания

В отдельных случаях (например, в случае переаттестации дисциплины) промежуточная аттестация в виде зачета по дисциплине во 2 семестре может проводиться с проведением аттестационного испытания по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки освоенных умений и уровня приобретенных владений всех заявленных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности *всех* заявленных компетенций.

2.4.2.1. Типовые вопросы и задания для зачета по дисциплине

Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:

1. Какие подходы используются для нахождения критериев подобия.
2. Сформулируйте теоремы подобия.
3. Как формулируется –теорема?
4. Как проверяются независимости размерностей физических величин.
5. Чем следует заканчивать экспериментальные исследования, опираясь на критерии, участвующие в том или ином явлении?
6. В чём выражается подобие лопаточных машин?
7. Отличаются ли КПД двух подобных компрессоров?
8. Приведите список критериев подобия для компрессора.
9. Каким образом можно вносить изменения в безразмерный критерий?
10. Приведите пример безразмерного относительного показателя.

Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений:

1. Проверить независимость размерностей следующих физических величин, принимаемых в качестве основных: l – длина, v – скорость, ρ – плотность.
2. Определите размерность силы в системе величин механики LMT .
3. Определите размерность динамической вязкости в системе величин механики LMT .
4. Определите размерность мощности в системе величин механики LMT .
5. Проверьте правильность формулы для мощности потока жидкости:

$$N_n = \rho g H Q,$$

где ρ – плотность жидкости; g – ускорение свободного падения; H – полный напор в сечении потока; Q – объемный расход; N_n – мощность потока жидкости, проходящей потока.

6. Определите физический смысл величины

$$C = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

где K – модуль упругости жидкости; ρ – плотность жидкости.

7. Для трубки Пито-Прандтля установлено соотношение

$$u = \sqrt{2gH_{ск}}$$

где u – скорость жидкости; $H_{ск}$ – скоростной напор.

Проверьте его правильность.

8. Частота вращения центробежного насоса возросла в 1,2 раза. Как и во сколько раз изменится расход насоса.

2.4.2.2. Шкалы оценивания результатов обучения на зачете

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения во 2 семестре при сдаче зачета 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 зачете считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

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 *зачета* используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.

4. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)

Допуск к промежуточной аттестации в 3 семестре также осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех лабораторных работ и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

Промежуточная аттестация в 3 семестре, 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 усвоенных 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.

4.1. Типовые вопросы и задания для экзамена по дисциплине

Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:

1. Элементы теории размерностей (теоремы подобия, π -теорема, независимость размерностей).
2. Два способа определения критериев подобия.
3. Порядок составления критериального уравнения на примере механической колебательной системы с одной степенью свободы.
4. Подобие центробежных насосов.
5. Гидродинамическое подобие.
6. Критерии гидродинамического подобия.
7. Тепловое подобие.
8. Критерии подобия Грасгофа и Архимеда.
9. Определяющий критерий. Переход от модели к натуре на примере аэродинамики летательного аппарата.
10. Критерий Нуссельта.
11. Приведённая характеристика центробежного нагнетателя.
12. Порядок определения рабочих параметров центробежного нагнетателя на основе использования приведённой характеристики центробежного нагнетателя по методике ЦНИИГаза.

Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений:

1. Частота вращения центробежного насоса изменилась с $n_1 = 3000$ об/мин до $n_2 = 3500$ об/мин. Во сколько раз увеличится подача, напор и мощность насоса. Рассматриваются подобные режимы насоса. При этом $D_1 = D_2$.

2. Центробежный насос с рабочим колесом, диаметр которого $D_1 = 250$ мм, при частоте вращения $n_1 = 1800$ об/мин создает напор $H_1 = 12$ м и подает жидкость с расходом $Q_1 = 6,4$ л/с. Требуется определить частоту вращения n_2 и диаметр D_2 колеса насоса, который при подобном режиме работы создает напор $H_2 = 18$ м и обеспечивает подачу $Q_2 = 10$ л/с.

3. На основе теории размерностей определить правильность написания выражения для касательного напряжения трения в форме

$$\tau = \mu S \frac{du}{dy},$$

если динамическая вязкость μ имеет размерность Па · с.

4. На основе теории размерностей выбрать правильное написание формулы для кинематической вязкости из приведённых выражений:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \qquad \nu = \frac{\rho}{\mu} \qquad \nu = \rho \mu$$

если динамическая вязкость μ имеет размерность Па · с.

5. Показать, что физические величины: S – площадь, v – скорость, ρ – плотность имеют независимые размерности и могут быть использованы в качестве основных величин.

6. Показать, что физические величины: l – длина, v – скорость, ρ – плотность имеют независимые размерности и могут быть использованы в качестве основных величин.

7. В гидроканале изучается модель корабля, имеющего в натуре длину 160 м и скорость 7 м/с. Определите, с какой скоростью перемещается в этом гидроканале модель, длина которой 3 м. Основное сопротивление вызвано перемещением массы воды.

8. Летательный аппарат рассчитан на движение при нормальных атмосферных условиях со скоростями 160 м/с. Для испытаний в аэродинамической трубе переменной плотности используется модель этого аппарата, выполненная в масштабе 1:10. Продувка производится при давлении в рабочей части аэродинамической трубы $p_m = 2 \cdot 10^6$ Па и температуре $T_m = 298$ К. Определите при каких скоростях надо испытывать модель, чтобы обеспечить аэродинамическое подобие по числу Re .

Справка. Кинематический коэффициент вязкости в натуральных испытаниях равен $\nu_n = 1,461 \cdot 10^{-5}$ м²/с.

9. В аэродинамической трубе моделируется установившийся полёт самолёта с дозвуковой скоростью. Определите определяющий критерий. Каким требованиям должна отвечать дозвуковая аэродинамическая труба.

10. В аэродинамической трубе моделируется установившийся режим движения сверхзвукового самолёта с большим сопротивлением давления. Сила трения играет второстепенную роль. Определите определяющий критерий. Каким требованиям должна отвечать аэродинамическая труба.

11. В аэродинамической трубе моделируется полёт сверхзвукового хорошо обтекаемого летательного аппарата, для которого сопротивление давления и трения соизмеримы. Определите определяющие критерии. Каким требованиям должна отвечать аэродинамическая труба.

Типовое комплексное задания для контроля приобретенных владений:

1. Выберите самостоятельно для рассмотрения некоторую физическую модель (явление).

2. Сформулируйте предполагаемую закономерность между размерными величинами, характеризующими исследуемое явление.

3. Выберите основные величины и докажите их независимость. Определите число критериев.

4. Определите критерии подобия.

5. Предположите функциональную связь между критериями.

4.2. Шкалы оценивания результатов обучения на зачете

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания.

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

5. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов компетенций

5.1. 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 компетенций приведены в общей части ФОС образовательной программы.

5.2. 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.