

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

« 27 » февраля 20 23 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: Динамика и прочность ракетных двигателей
(наименование)

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

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

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

Направление подготовки: 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей
(код и наименование направления)

Направленность: Проектирование ракетных двигателей твёрдого топлива (СУОС)
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель учебной дисциплины – формирование комплекса знаний, умений и навыков, необходимых для решения прикладных проблем прочностных расчетов конструктивных элементов и узлов ракетных двигателей с учетом динамических нагрузок, возникающих в процессе их функционирования на этапах их разработки и проектирования.

Задачи дисциплины:

- изучение методов расчета напряжений и деформаций отдельных элементов конструкции ракетного двигателя;
- освоение программы конечно-элементного анализа для проведения прочностных расчетов и анализа конструкций на устойчивость;
- освоение теоретических знаний о роли и месте динамических нагрузок в формировании работоспособности и надежности ракетных двигателей, и их неоднозначности в воздействии на материал, конструктивные элементы их конструкцию;
- освоение приемов и методов проведения динамического анализа и расчета прочности, оценки надежности конструкции ракетных двигателей для различных этапов их жизненного цикла;
- развитие умений выбора методов и методик прочностных расчетов конструктивных элементов ракетных двигателей с учетом динамических нагрузок, и освоении навыков основных расчетных алгоритмов в процессе их разработки и проектирования.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- ракетные двигатели на жидком и твердом топливе;
- методы расчетов на прочность и жесткость различных конструкций;
- процессы динамического нагружения и деформирования конструктивных элементов ракетного двигателя и зарядов РДТТ;
- методы выбора расчетных схем прочности и жесткости конструкций летательных аппаратов и их подсистем;
- модели оценки прочности и устойчивости основных элементов и узлов ракетных двигателей;
- модели материала; модели формы конструкции ракетных двигателей;
- модели нагружения и модели разрушения конструктивных элементов ракетного двигателя;
- запасы прочности, долговечность и ресурс ракетного двигателя;
- методы анализа прочностной надежности типовых элементов и узлов ракетного двигателя.

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-2.8	ИД-1ПК-2.8	<p>Знает методы расчетов на прочность и жесткость различных конструкций; методы выбора расчетных схем прочности и жесткости конструкций ракетных двигателей и их подсистем; природу колебательных процессов, виды и структуру колебательных процессов и волновых взаимодействий; математический аппарат, описывающий колебательные движения в механике, преобразования Лапласа, Фурье, функции Бесселя и Неймана; системы координат и преобразования систем координат; физические уравнения связей в конструкции объекта в зависимости от количества степеней свободы рассматриваемого соединения или объекта; методы расчета на прочность, устойчивость конструктивных элементов объекта, балок с учетом внешних сил и моментов; основы динамического поведения элементной базы ракетного двигателя.</p>	<p>Знает методики и этапность проведения газодинамических, тепловых и прочностных расчётов процессов в ракетных двигателях твёрдого топлива.</p>	<p>Отчёт по практическом у занятию</p>
ПК-2.8	ИД-2ПК-2.8	<p>Умеет составлять расчетные схемы определения динамических нагрузок для конструктивного элемента объекта с постановкой начальных и граничных условий; выбирать методы и приемы расчетов на прочность, устойчивость</p>	<p>Умеет проводить газодинамические, тепловые и прочностные расчёты ракетных двигателей твёрдого топлива и их элементов с использованием аналитических и численных методов исследования.</p>	<p>Защита лабораторной работы</p>

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		<p>конструктивных элементов ракетного двигателя; определять расчетные напряжения и деформации с анализом динамического состояния и действия нагрузок в конструктивных элементов ракетного двигателя; использовать методики расчета на прочность и устойчивость элементов конструкций ракет и космических аппаратов с применением программ конечно-элементного анализа; проводить исследования физических и прочностных свойств материалов.</p>		
ПК-2.8	ИД-ЗПК-2.8	<p>Владеет навыками определения основных расчетных нагрузок, действующих на конструктивные элементы и узлы ракетного двигателя; навыками проведения прочностных расчетов с учетом действия динамических нагрузок; навыками работы с технической литературой с проведением анализа по выбору методик расчета прочностных характеристик и устойчивости конструктивных элементов ракетного двигателя.</p>	<p>Владеет навыками проведения газодинамических, тепловых и прочностных расчётов ракетных двигателей твёрдого топлива и их элементов с использованием аналитических и численных методов исследования с применением современных программных средств и анализа полученных результатов для принятия технических решений.</p>	Зачет

3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		9	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	63	63	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	23	23	
- лабораторные работы (ЛР)	18	18	
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	18	18	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	4	4	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	81	81	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен			
Дифференцированный зачет	9	9	
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	
9-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
Расчет на прочность и устойчивость основных конструктивных элементов ракетных двигателей	13	10	10	41
<p>Введение</p> <p>Предмет дисциплины динамика ракетного двигателя. Общая характеристика и состав дисциплины. Объем в часах лекционных и практических занятий. Формы промежуточного и заключительного контроля. Рекомендуемая основная и дополнительная литература.</p> <p>Роль курса в системе знаний инженера-механика. Методические указания по его изучению. Место динамики ракетного двигателя и оценки прочности и устойчивости его конструктивных элементов в процессе разработки комплекса летательного аппарата.</p> <p>Тема 1. Вариационные и приближенные методы расчета силовых конструкций</p> <p>Потенциальная энергия деформации упругой системы. Вариационное решение задачи теории упругости в перемещениях. Вариационный принцип Лагранжа.</p> <p>Приближенные методы решения задач строительной механики. Метод Ритца-Тимошенко. Конечно-разностные методы. Метод конечных элементов.</p> <p>Тема 2. Использование пакета конечно-элементного анализа ANSYS</p> <p>Назначение комплектация и основные возможности пакета. Основные этапы решения задачи в ANSYS. Место конечно-элементного анализа при проектировании. Построение геометрической и конечно-элементной моделей, задание граничных условий, решение задачи, анализ результатов.</p> <p>Стандартные форматы обмена графической информации между приложениями.</p> <p>Решение плоских задач (ПНС, ПДС, осесимметричная). Расчет стержней и балок. Расчет пластин и оболочек. Динамический анализ (гармонический анализ, модальный анализ, анализ переходных процессов). Температурный анализ. Проведение расчетов на устойчивость.</p> <p>Тема 3. Расчет стержневых систем и ферменных конструкций</p> <p>Кинематический анализ стержневых систем и ферменных конструкций. Статически определимые и неопределимые стержневые системы. Расчет плоских стержневых систем и пространственных ферм. Расчет статически определимых ферм. Метод вырезания углов. Метод сечений.</p> <p>Тема 4. Расчет пластин</p> <p>Основные уравнения и гипотезы. Вывод основных</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
<p>уравнений в декартовой системе координат. Плоское напряженное состояние пластин. Изгиб пластин, основные соотношения. Вывод дифференциального уравнения упругой поверхности пластины. Учет граничных условий. Общее решение дифференциального уравнения для прямоугольной пластины.</p> <p>Тема 5. Расчет оболочек вращения Основные понятия и гипотезы Кирхгофа-Лява. Геометрия оболочек вращения. Основные соотношения общей теории оболочек. Вывод геометрических соотношений (уравнений связи деформаций и перемещений). Безмоментная теория оболочек вращения. Основные уравнения безмоментной теории оболочек. Уравнения осесимметричной задачи. Вычисление напряжений и деформации в сферической и цилиндрической оболочках при действии внутреннего давления. Основные уравнения моментной теории оболочек. Уравнения моментной теории оболочек при осесимметричной деформации. Краевой эффект для цилиндрической оболочки.</p> <p>Тема 6. Расчет на устойчивость пластин и оболочек Понятие об устойчивости. Задача Эйлера. Зависимость критической силы от условий закрепления стержня. Устойчивость пластин. Устойчивость прямоугольной пластины, шарнирно опертой по контуру и сжатой в одном направлении. Двустороннее сжатие прямоугольной пластины. Устойчивость цилиндрических оболочек. Устойчивость цилиндрических оболочек при осевом сжатии и внешнем давлении. Устойчивость сферической оболочки при внешнем давлении.</p> <p>Тема 7. Расчет напряженно-деформированного состояния элементов конструкций ракетного двигателя Напряжения и деформации в толстостенной трубе (задача Ляме). Расчет напряженно-деформированного состояния прочноскрепленного заряда с гладким цилиндрическим каналом при действии внутреннего давления и температуры эксплуатации. Расчет корпуса РДТТ. Расчет сферических, эллиптических и торосферических днищ. Расчет шпангоутов. Особенности расчета на прочность конструкций ЖРД. Расчет конструкций из композиционных материалов.</p>				
Динамический анализ ракетного двигателя	10	8	8	40

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>Тема 8. Динамические нагрузки, действующие на летательный аппарат</p> <p>Понятия динамики и динамической нагрузки. Классификация динамических нагрузок, действующих на летательный аппарат на различных этапах его эксплуатации. Нагрузки при хранении ракетных двигателей. Нагрузка при транспортировке. Ветровая нагрузка. Полетные нагрузки. Тепловые нагрузки. Акустическая нагрузка. Колебания давления в камере РДТТ и тяги двигателя.</p> <p>Тема 9. Определения теории колебаний и механизмы их возникновения в ракетном двигателе летательного аппарата</p> <p>Собственные колебания элементов и узлов ракетных двигателей. Вынужденные колебания. Автоколебания и механизм их возникновения. Параметрические колебания. Нелинейные колебания. Механизмы возникновения изгибных и продольных автоколебаний ракеты. Динамические нагрузки, действующие на корпус ракетного двигателя при отсечке двигателя. Периодическая возмущающая сила и возмущающая сила произвольного вида.</p> <p>Тема 10. Задачи динамического анализа ракетного двигателя</p> <p>Основные задачи динамического анализа. Методы решения динамических задач. Технические решения на этапе динамического анализа. Динамические подходы к оценке динамической прочности (схема мгновенного разрушения и схема накопления повреждений).</p> <p>Виды колебаний конструкции летательного аппарата и их опасность. Роль динамического анализа в создании конструкции летательного аппарата.</p> <p>Тема 11. Колебания ракетного двигателя</p> <p>Возможные причины возникновения продольных колебаний. Собственные продольные колебания стержня переменной погонной массы и жесткости. Метод последовательных приближений при определении собственных частот и форм колебаний. Вынужденные продольные колебания корпуса ракеты при выключении двигателя. Максимальная продольная растягивающая нагрузка для стыковочных соединений.</p> <p>Тема 12. Расчет напряженно-деформированного состояния ракеты с РДТТ при транспортировке</p> <p>Коэффициент динамичности конструкции. Схема решения задачи и итерационная процедура учета подкрепления корпуса РДТТ зарядом твердого</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
топлива. Оценка прочности. Учет динамических свойств твердого ракетного топлива. Трехмерная постановка задачи о колебаниях прочносткрепленного заряда. Отличия в решении от балочной постановки задачи. Тема 13. Экспериментальные методы исследований динамической прочности ракетных двигателей Экспериментальные методы исследования твердых топлив. Динамические испытания ракет. Постановка и задачи динамических испытаний ракет. Параметры, определяемые при динамических испытаниях ракет. Влияние динамических нагрузок на надежность ракет. Тема 14. Расчет камеры сгорания ЖРД, топливных баков и трубопроводов Упрощенная методика оценки несущей способности конструктивных элементов сгорания ЖРД, топливных баков и трубопроводов. Оценка устойчивости конструктивных элементов от действия статической и динамической нагрузок. Уточненная методика оценки несущей способности конструктивных элементов сгорания ЖРД, топливных баков и трубопроводов. Методы исследования работоспособности конструктивных элементов				
ИТОГО по 9-му семестру	23	18	18	81
ИТОГО по дисциплине	23	18	18	81

Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Расчет стержневых систем и ферменных конструкций
2	Расчет пластин
3	Расчет оболочек вращения
4	Расчет напряженно-деформированного состояния элементов конструкций ракетного двигателя
5	Расчет динамических нагрузок ракетного двигателя при старте
6	Расчет динамических нагрузок при возникновении колебаний элементов конструкции ракетного двигателя
7	Расчет механических динамического НДС топливного заряда
8	Расчет механических динамического НДС топливного заряда
9	Освоение современных методик оценки динамического состояния ракетного двигателя

Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Основы работы в ANSYS
2	Расчет ферменных конструкций с использованием пакета ANSYS
3	Расчет пластин с использованием пакета ANSYS
4	Расчет на устойчивость с использованием пакета ANSYS
5	Модальный анализ с использованием пакета ANSYS
6	Гармонический анализ с использованием пакета ANSYS
7	Определение влияния изменения массы топливного заряда на продольные, изгибные и крутильные колебания ракетного двигателя
8	Исследование влияния массо-жесткостных характеристик на динамические нагрузки ракетного двигателя
9	Исследование динамически напряженных зон в топливном заряде ракетного двигателя

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	Дарков А. В. Строительная механика : учебник для вузов / А. В. Дарков, Н. Н. Шапошников. - Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2010.	32
2	Присняков В. Ф. Динамика ракетных двигателей твердого топлива : учебное пособие для вузов / В. Ф. Присняков. - Москва: Машиностроение, 1984.	39
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
1	Динамика ракет : учебник для вузов / А. К. Абгарян [и др.]. - М.: Машиностроение, 1990.	23
2	Котов А. Г. САПР изделий из композиционных материалов. Моделирование процессов деформирования и разрушения в среде ANSYS : учебное пособие / А. Г. Котов. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008.	124
3	Чигарев А. В. ANSYS для инженеров : справочное пособие / А. В. Чигарев, А. С. Кравчук, А. Ф. Смалюк. - Москва: Машиностроение, 2004.	44
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	Котов А. Г. САПР изделий из композиционных материалов. Моделирование процессов деформирования и разрушения в среде ANSYS : учебное пособие / А. Г. Котов. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008.	http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2826	сеть Интернет; свободный доступ
Дополнительная литература	Чигарев А. В. ANSYS для инженеров : справочное пособие / А. В. Чигарев, А. С. Кравчук, А. Ф. Смалюк. - Москва: Машиностроение, 2004.	http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2374	сеть Интернет; авторизованный доступ
Основная литература	Дарков А. В. Строительная механика / Дарков А. В., Шапошников В. А. - Санкт-Петербург: Лань, 2010.	http://elib.pstu.ru/Record/lan121	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)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATHCAD 14 Academic, ПНИПУ 2009 г.
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	ANSYS (лиц. 444632 ЦВВС)
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	ANSYS (лиц. 1062978)
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	КОМПАС-3D V18 Уч.вер.(АКФ, МКМК, лиц.Иж-17-00089)

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 Web of Science	http://www.webofscience.com/
База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU)	https://elibrary.ru/
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/
Информационно-справочная система нормативно-технической документации "Техэксперт: нормы, правила, стандарты и законодательства России"	https://техэксперт.сайт/

7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лабораторная работа	Компьютер	12
Лекция	Компьютер	1
Лекция	Проектор	1
Практическое занятие	Компьютер	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
«Динамика и прочность ракетных двигателей»

Приложение к рабочей программе дисциплины

Специальность:	24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей
Специализация программы специалитета	Проектирование ракетных двигателей твердого топлива
Квалификация выпускника:	инженер
Выпускающая кафедра:	Ракетно-космическая техника и энергетические системы
Форма обучения:	очная

Курс: 5

Семестр: 9

Трудоёмкость:

Кредитов по рабочему учебному плану: 4 ЗЕ

Часов по рабочему учебному плану: 144 ч.

Форма промежуточной аттестации:

Дифф. зачет: 9 семестр

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины «Динамика и прочность ракетных двигателей». 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 9-го семестра учебного плана и разбито на 2 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные 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		Промежуточный	
	С	ТО	ОЛР	Т/КР		Дифф. зачёт
Усвоенные знания						
3.1 знать методы расчетов на прочность и жесткость различных конструкций		ТО1		КР2		ТВ
3.2 знать методы выбора расчетных схем прочности и жесткости конструкций ракетных двигателей и их подсистем				КР1		ТВ
3.3. знать природу колебательных процессов, виды и структуру колебательных процессов и волновых взаимодействий		ТО2		КР2		ТВ
3.4 знать математический аппарат, описывающий колебательные движения в механике, преобразования Лапласа, Фурье, функции Бесселя и Неймана; системы координат и преобразования систем координат	С1			КР1		ТВ

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля					
	Текущий		Рубежный		Промежуточный	
	С	ТО	ОЛР	Т/КР		Дифф. зачёт
3.5 знать физические уравнения связей в конструкции объекта в зависимости от количества степеней свободы рассматриваемого соединения или объекта		ТО3		КР2		ТВ
3.6 знать методы расчета на прочность, устойчивость конструктивных элементов объекта, балок с учетом внешних сил и моментов				КР1		ТВ
3.7 знать основы динамического поведения элементной базы ракетного двигателя				КР1		ТВ
3.8 знать влияние на динамические нагрузки конструкции ракетного двигателя	С2	ТО4		КР2		ТВ
Освоенные умения						
У.1 уметь составлять расчетные схемы определения динамических нагрузок для конструктивного элемента объекта с постановкой начальных и граничных условий			ОЛР1	КР2		ПЗ
У.2 уметь выбирать методы и приемы расчетов на прочность, устойчивость конструктивных элементов ракетного двигателя			ОЛР2 ОЛР3	КР1		ПЗ
У.3. уметь определять расчетные напряжения и деформации с анализом динамического состояния и действия нагрузок в конструктивных элементах ракетного двигателя			ОЛР4 ОЛР5	КР2		ПЗ
У.4 уметь использовать методики расчета на прочность и устойчивость элементов конструкций ракет и космических аппаратов с применением программ конечно-элементного анализа			ОЛР6 ОЛР7			ПЗ
У.5. уметь проводить исследования физических и прочностных свойств материалов			ОЛР8 ОЛР9			ПЗ
Приобретенные владения						
В.1 владеть навыками определения основных расчетных нагрузок, действующих на конструктивные элементы и узлы ракетного двигателя			ОЛР6			ПЗ
В.2 владеть навыками проведения прочностных расчетов с учетом действия динамических нагрузок			ОЛР7			ПЗ
В.3 владеть навыками работы с технической литературой с проведением анализа по выбору методик расчета прочностных характеристик и устойчивости конструктивных			ОЛР8 ОЛР9			ПЗ

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 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 бланочного 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 проводится в форме защиты лабораторных работ и рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

2.2.1. Защита лабораторных работ

Всего запланировано 9 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 2 рубежные контрольные работы (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины. Первая КР по модулю 1 «Расчет на прочность и устойчивость основных конструктивных элементов ракетных двигателей», вторая КР – по модулю 2 «Динамический анализ ракетного двигателя».

Типовые задания первой КР:

1. Построение геометрической и конечно-элементной моделей, задание граничных условий, решение задачи, анализ результатов.

2. Расчет плоских стержневых систем и пространственных ферм. Расчет статически определимых ферм. Метод вырезания углов. Метод сечений.

3. Расчет напряженно-деформированного состояния прочноскрепленного заряда с гладким цилиндрическим каналом при действии внутреннего давления и температуры эксплуатации.

4. Расчет корпуса РДТТ. Расчет сферических, эллиптических и тороидальных днищ. Расчет шпангоутов. Особенности расчета на прочность конструкций ЖРД.

5. Расчет конструкций из композиционных материалов

Типовые задания второй КР:

1. Собственные колебания элементов и узлов ракетных двигателей. Вынужденные колебания. Автоколебания.

2. Метод последовательных приближений при определении собственных частот и форм колебаний. Вынужденные продольные колебания корпуса ракеты при выключении двигателя.

3. Схема решения задачи и итерационная процедура учета подкрепления корпуса РДТТ зарядом твердого топлива. Оценка прочности.

4. Параметры, определяемые при динамических испытаниях ракет. Влияние динамических нагрузок на надежность ракет.

5. Методика оценки несущей способности конструктивных элементов створания ЖРД, топливных баков и трубопроводов.

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

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 (итоговый контроль)

Допуск к промежуточной аттестации 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 проводится в форме дифференцированного 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 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 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.

2.4.2.1. Типовые вопросы и задания для зачета по дисциплине

Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:

1. Основные методы расчетов на прочность и жесткость различных конструкций.

2. Порядок выбора расчетных схем прочности и жесткости конструкций ракетных двигателей и их подсистем;

3. Физическая и математические модели колебательных процессов, виды и структуру колебательных процессов и волновых взаимодействий;

4. Колебательные движения в механике и основные виды преобразования в волновых уравнениях (Лапласа, Фурье, функции Бесселя и Неймана).

5. Собственные, вынужденные, автоколебания системы РДТТ, как системы с распределенной массой.

6. Физические уравнения связей в конструкции объекта в зависимости от количества степеней свободы рассматриваемого соединения или объекта.

7. Методы расчета на прочность, устойчивость конструктивных элементов объекта, балок с учетом внешних сил и моментов применительно к ракетному двигателю.

8. Основы динамического поведения элементной базы ракетного двигателя.

9. Влияние на динамические нагрузки конструктивных элементов ракетного двигателя.

Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений:

1. Составить расчетную схему для определения динамических нагрузок ракетного двигателя в составе летательного аппарата .

2. Сделать качественный и количественный анализ динамических нагрузок при продольных, изгибных и крутильных колебаниях ракетного двигателя в составе летательного аппарата..

3. Составить расчетную схему для определения нагрузок в переходном отсеке двигателя и переходного отсека.

4. Составить план экспериментальных работ по анализу изменений физико-механических характеристик материала корпуса двигателя

5. Выбрать методики расчета на прочность и устойчивость цилиндрических оболочек корпуса ракетного двигателя.

6. Провести анализ необходимых свойств конструкционного материала для обеспечения заданной надежности в работе элементной базы ракетного двигателя.

Типовые комплексные задания для контроля приобретенных владений:

1. Рассчитать динамические нагрузки, действующие на ракетный двигатель в процессе его транспортировки в составе ракеты различными видами транспорта.

2. Провести оценку динамического НДС корпуса ракетного двигателя в процессе его запуска.

3. Провести динамический расчет переходного отсека ракетного двигателя в составе летательного аппарата.

4. Провести оценку устойчивости цилиндрической оболочки с учетом действия динамических нагрузок

5. Провести оценку динамического коэффициента при взаимодействии конструктивных элементов РДТТ и газодинамических нагрузок, действующих на РДТТ в составе летательного аппарата при полете.

6. Оценить остаточные напряжения в прочноскрепленном топливном заряде после его формования до температуры термостатирования.

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 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.