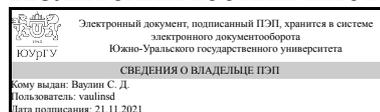


УТВЕРЖДАЮ:
Директор института
Политехнический институт



С. Д. Ваулин

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины Б.1.46 Компьютерный инженерный анализ систем РКТ
для специальности 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов

уровень специалист **тип программы** Специалитет

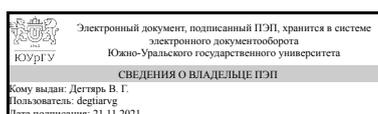
специализация Ракетные транспортные системы

форма обучения очная

кафедра-разработчик Летательные аппараты

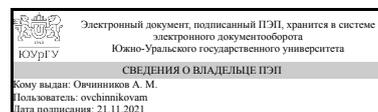
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов, утверждённым приказом Минобрнауки от 01.12.2016 № 1517

Зав.кафедрой разработчика,
д.техн.н., проф.



В. Г. Дегтярь

Разработчик программы,
старший преподаватель (-)



А. М. Овчинников

1. Цели и задачи дисциплины

Цель изучения дисциплины: - формирование системы профессиональных знаний и практических навыков использования современных компьютерных технологий проектирования и разработки сложных конструкций в рамках автоматизированных комплексов САД-САМ-САЕ; решение задач механики твердого тела (применительно к инженерному анализу конструкций ЛА) с помощью метода конечных элементов. Задачи изучения дисциплины: - освоение знаний и навыков использования современных компьютерных технологий метода конечных элементов при проектировании конструкций ЛА.

Краткое содержание дисциплины

Выполнение инженерных расчётов в программной среде MathCad (MathLab) при проектировании конструкции ЛА. Матричный метод перемещений в решении задач статики конструкций. Метод конечных элементов в механике конструкций. Конечные элементы для моделирования деформаций силовых конструкций ЛА. Конечные элементы для моделирования среды и контактных взаимодействий конструкций ЛА. Соотношения метода конечных элементов в задачах динамики. Особенности практических расчетов при проектировании конструкций ЛА с использованием программных комплексов конечно-элементного анализа. Выполнение проекторочных и прочностных расчетов характеристик конструкций ЛА с помощью современных конечно-элементных программных комплексов Nastran и Ansys

2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУНы)
ПК-4 способностью проводить техническое проектирование изделий ракетной и ракетно-космической техники с использованием твердотельного компьютерного моделирования в соответствии с единой системой конструкторской документации и на базе современных программных комплексов	Знать: современные методы поиска новых технических решений; принципы и методы формирования структурно-функциональных моделей процессов, конструкций;
	Уметь: использовать методы анализа технического уровня авиационной техники и технологий; структурно - функциональный анализ при оценке эффективности проектируемых конструкций;
	Владеть: методами разработки структурно-функциональной модели конструкции с целью выявления нежелательных эффектов и формирования задач по их устранению.

3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
Б.1.36 Вычислительная техника в инженерной практике, ДВ.1.08.01 Метод конечных элементов в	Не предусмотрены

проектировании авиационных и ракетных комплексов	
--	--

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

Дисциплина	Требования
Б.1.36 Вычислительная техника в инженерной практике	Знать: особенности силовой работы типовых конструкций аэрокосмической техники; особенности применения часто используемых конечных элементов; алгоритмы, реализованные в методе конечных элементов; особенности внедрения систем автоматизированного проектирования в процесс разработки изделий аэрокосмической отрасли. Уметь работать с современными программными продуктами, реализующими МКЭ.
ДВ.1.08.01 Метод конечных элементов в проектировании авиационных и ракетных комплексов	Освоение знаний и навыков использования метода конечных элементов при проектировании конструкций ракетно-космической техники с помощью современных компьютерных технологий метода конечных элементов.

4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 ч.

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах
		Номер семестра
		11
Общая трудоёмкость дисциплины	144	144
<i>Аудиторные занятия:</i>	72	72
Лекции (Л)	36	36
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	36	36
Лабораторные работы (ЛР)	0	0
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	72	72
Подготовка к экзамену	15	15
Подготовка к зачету	7	7
Контрольное задание 1	20	20
Контрольное задание 2	30	30
Вид итогового контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	экзамен

5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах

		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Пакет программ MathCad для выполнения инженерных расчетов	8	6	2	0
2	Матричная формулировка соотношений теории упругости и строительной механики летательных аппаратов. Метод перемещений	8	6	2	0
3	Метод конечных элементов в механике конструкций ЛА	8	6	2	0
4	Конечные элементы для моделирования деформаций силовых конструкций ЛА.	14	6	8	0
5	Конечные элементы для моделирования среды и контактных взаимодействий конструкций ЛА	8	6	2	0
6	Соотношения метода конечных элементов в задачах динамики	18	6	12	0
7	Особенности практических расчетов при проектировании силовых элементов конструкций ЛА с использованием программных комплексов конечно-элементного анализа	8	0	8	0

5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Пакет программ MathCad для выполнения инженерных расчетов	6
2	2	Матричная формулировка соотношений теории упругости и строительной механики летательных аппаратов. Метод перемещений	6
3	3	Метод конечных элементов в механике конструкций ЛА	6
4	4	Конечные элементы для моделирования деформаций силовых конструкций ЛА.	6
5	5	Конечные элементы для моделирования среды и контактных взаимодействий конструкций ЛА	6
6	6	Соотношения метода конечных элементов в задачах динамики	6

5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	1	Использование программно-вычислительного комплекса MathCad при выполнении инженерных расчетов. Решение систем линейных и нелинейных алгебраических уравнений. Метод Ньютона (функции Find, Minerr), метод секущих (функция root). Экстремум функции.	1
2	1	Особенности использования программно-вычислительного комплекса MathCad при выполнении инженерных расчетов. Формирование матричных уравнений с использованием подматриц. Выполнение матричных операций	1
3	2	Расчет нагруженности и деформирования ферменной конструкции отсека ЛА матричным методом перемещений. Матрицы узловых сил и смещений. Решение системы уравнений МКЭ с помощью MathCad	1
4	2	Метод конечных элементов в механике конструкций. Краткая характеристика современных программных пакетов, реализующих метод конечных элементов	1
5	3	Особенности современных программных пакетов, реализующих метод конечных элементов. Примеры выполнения инженерного анализа при проектировании конструкций ЛА	1
6	3	Конечные элементы для моделирования деформаций силовых конструкций	1

		ЛА. Расчет характеристик деформирования конструкции рамы ДУ методом конечных элементов с помощью программного пакета Ansys (Nastran)	
7	4	Моделирование элементов конструкций ЛА с использованием плоских и пространственных конечных элементов (пластина, оболочка, диск). Особенности закрепления модели. силовое и тепловое воздействие.	2
8	4	Моделирование с использованием одномерных, плоских и пространственных конечных элементов (стержень, пластина, оболочка, диск, массив). Решение задач нелинейного деформирования конструкций. Потеря несущей способности при сжимающих напряжениях и упруго- пластическом деформировании.	2
9	4	Решение задач нелинейного деформирования конструкций. Потеря несущей способности при сжимающих напряжениях и упруго- пластических деформациях. Экспериментальное исследование продольного изгиба стержней тонкостенного сечения при осевом сжатии	2
10	4	Расчётные модели изгиба стержня и локального деформирования тонкостенных элементов его сечения. Потеря устойчивости в общей и местной форме. Сравнение экспериментальных критических значений сжимающей нагрузок с полученными в результате аналитического расчета и анализа МКЭ	2
11	5	Решение задач нелинейного деформирования конструкций. Потеря несущей способности при сжимающих напряжениях, упруго- пластическое деформирование. Верификация расчётных моделей на примере задачи продольного изгиба сжатого стержня тонкостенного сечения. Сравнение критических значений сжимающей нагрузок, полученных в результате аналитического расчета, анализа МКЭ в линейной и нелинейной постановке и испытаний стержней тонкостенного профиля	1
12	5	Конечные элементы для моделирования среды и контактных взаимодействий конструкций ЛА. Конечные элементы для моделирования контактных взаимодействий различных типов. Задача Герца. Аналитическое решение и решение МКЭ.	1
13	6	Конечные элементы для моделирования среды и контактных взаимодействий конструкций ЛА. Конечные элементыЗадача Герца. Аналитическое решение и решение МКЭ. Моделирование контактных взаимодействий различных типов.	2
14	6	Моделирование контактных взаимодействий различных типов. Расчёт НДС фланцевого соединения. Сравнение с известными результатами расчёта и данными испытаний	2
15	6	НДС фланцевого соединения. Сравнение расчёта МКЭ с известными результатами расчёта и данными испытаний	2
16	6	Соотношения метода конечных элементов в задачах динамики. Определение собственных форм и частот колебаний конструкции МКЭ в Ansys	2
17	6	Определение собственных форм и частот колебаний балки. Экспериментальное исследование собственных форм и частот колебаний балки с использованием программно-аппаратного комплекса "LDS-LMS".	2
18	6	Экспериментальное исследование отклика балки на импульсное воздействие с использованием современного программно-аппаратного комплекса "LDS-LMS".	2
19,20	7	Верификация динамической расчётной модели на основе анализа результатов экспериментального исследования. Исследование конечно-элементной модели колебаний балки. Определение влияния шага интегрирования по времени, шага узлов (количества элементов), демпфирования на динамический отклик системы	4
21,22	7	Динамические модели элементов конструкции ЛА. Формирование смешанной, балочно-оболочечной модели конструкции ЛА. Оформление	4

	отчёта по результатам исследований и решения задач индивидуального задания в соответствии с ГОСТами на оформление научно-технических отчётов.	
--	---	--

5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС		
Вид работы и содержание задания	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц)	Кол-во часов
Подготовка к зачету	Основная и дополнительная литература	7
контрольное задание 1	осн. лит-ра [1] с.28-43, [2] с.125-129, [4]с 43-48	20
Подготовка к экзамену	Основная и дополнительная литература	15
контрольное задание 2	[5],с.52-61	30

6. Инновационные образовательные технологии, используемые в учебном процессе

Инновационные формы учебных занятий	Вид работы (Л, ПЗ, ЛР)	Краткое описание	Кол-во ауд. часов
Разбор конкретных ситуаций	Практические занятия и семинары	Анализ результатов лабораторных и натуральных испытаний конструкций	5
Компьютерное моделирование и практический анализ результатов	Практические занятия и семинары	Расчет напряжений в оболочках (мембранах и баках) нагруженных давлением. Анализ результатов.	10
Компьютерное моделирование и практический анализ результатов	Практические занятия и семинары	Расчет реальных конструкций ЛА. Анализ результатов	20

Собственные инновационные способы и методы, используемые в образовательном процессе

Инновационные формы обучения	Краткое описание и примеры использования в темах и разделах
Использование информационных ресурсов и баз данных	http://rudocs.exdat.com http://mirknig.com

Использование результатов научных исследований, проводимых университетом, в рамках данной дисциплины: В лекциях и практических занятиях используются методы проектирования и инженерного анализа конструкций ЛА, сформированные при выполнении НИР по контрактам для ОАО "ГРЦ Макеева": Расчет разброса нагрузок при старте на ТПК с произвольной непрямолинейностью для формирования предварительных режимов нагружения статических испытаний. Контракт №Н/2/5/11-11-ДГОЗ от 21.07.11 Разработка методики и проведение расчётов по подтверждению и уточнению газодинамических и ударно-волновых нагрузок на ракету, транспортно-пусковой контейнер и шахтную пусковую

установку при старте . ОАО "ГРЦ Макеева" Контракт №Н/2/5/11-11-ДГОЗ от 21.07.12 Разработка методики и проведение расчетов по подтверждению и уточнению тепловых нагрузок на теплозащитное покрытие гиперзвуковых летательных аппаратов Контракт №Н/2/5/11-11-ДГОЗ от 21.07.13 Разработка и экспериментальная отработка методических материалов для уточнения математических динамических моделей изделия Программно-аппаратный комплекс модальных испытаний сложных технических систем ОАО "ГРЦ Макеева" Контракт №Н/2/5/11-11-ДГОЗ от 21.07.14

7. Фонд оценочных средств (ФОС) для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

7.1. Паспорт фонда оценочных средств

Наименование разделов дисциплины	Контролируемая компетенция ЗУНЫ	Вид контроля (включая текущий)	№№ заданий
Все разделы	ПК-4 способностью проводить техническое проектирование изделий ракетной и ракетно-космической техники с использованием твердотельного компьютерного моделирования в соответствии с единой системой конструкторской документации и на базе современных программных комплексов	экзамен	1-29

7.2. Виды контроля, процедуры проведения, критерии оценивания

Вид контроля	Процедуры проведения и оценивания	Критерии оценивания
экзамен	На экзамене студенту необходимо ответить на один теоретический вопрос и решить две задачи. Вопрос и задачи подобраны таким образом, чтобы охватывать различные темы дисциплины. При оценивании результатов мероприятия используется балльно-рейтинговая система оценивания результатов учебной деятельности обучающихся (утверждена приказом ректора от 24.05.2019 г. № 179)	Отлично: полный и правильный ответ на теоретический вопрос, верное решение задач. Рейтинг по дисциплине составляет от 85 до 100% Хорошо: неполные ответы на теоретические вопросы при правильных решениях задач, или в случае неверного ответа на теоретический вопрос и правильное выполнение остальных заданий. Рейтинг по дисциплине составляет от 75 до 84% Удовлетворительно: практическое отсутствие ответов на теоретический вопрос или неверно решена одна задача. Рейтинг по дисциплине составляет от 60 до 74% Неудовлетворительно: неверные ответы по двум и более заданиям. Рейтинг по дисциплине составляет менее 60 %

7.3. Типовые контрольные задания

Вид контроля	Типовые контрольные задания
экзамен	5. Основные понятия вариационного подхода в механике сплошных сред. 6. Работа внешних сил. Дополнительная работа. Потенциал внешних сил. 7. Энергия деформации. Дополнительная энергия деформации. 8. В чем заключается матричный метод перемещений для стержневых систем. 9. Понятие о матрице жесткости. 10. Что такое узловые силы и перемещения. 11. Понятие общей и местной координатных систем для деформируемой конструкции. Что такое матрица преобразования координат. 12. Ферменный элемент. 13. Матрицы узловых сил и перемещений ферменного элемента. 14. Матрица жесткости ферменного элемента. Матрица преобразования. 15. Принцип учета внеузловой нагрузки. 16. Основные этапы расчета НДС ферменной конструкции МКЭ. 17. Основные допущения метода конечных элементов в механике конструкций. 18. Основные соотношения для перемещений, деформаций и напряжений в конечном элементе. 19. Связь узловых сил с узловыми перемещениями. Блочная структура матриц. 20. Учет внеузловой нагрузки с помощью эквивалентных узловых сил. 21. Определение узловых перемещений МКЭ. 22. Связь метода конечных элементов с методом Ритца. 23. Плоский треугольный элемент. Аппроксимирующие полиномы. 24. Что представляют функции формы. 25. Приведение внеузловых нагрузок к эквивалентным узловым силам. 26. Поясните понятия внутренних узлов и подконструкций в МКЭ. 27. Использование подконструкций в расчетах НДС сложных технических объектов.. 28. Совместный и несовместный элемент. 29. Изопараметрические элементы. 30. Особенности вычисления напряжений. Сглаживание напряжений. 31. Матричное уравнение движения конструкции метода конечных элементов в задачах динамики. 32. Матрица масс конечного элемента. Матрица масс конструкции. 33. Матрица масс конечного элемента с линейными смещениями узлов. 34. Собственные колебания конструкции. Особенности расчета на примере стержня.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Печатная учебно-методическая документация

а) основная литература:

Не предусмотрена

б) дополнительная литература:

1. Шуп, Т. Е. Решение инженерных задач на ЭВМ Практик. рук. Т. Е. Шуп; Перевод с англ. В. А. Хохрякова; Под ред. В. Б. Миносцева. - М.: Мир, 1982. - 235 с. ил.

в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:

1. Математическое моделирование: ежемес. журн. / Рос. акад. наук, Отд-ние мат. наук, Ин-т мат. моделирования РАН
 2. Космические исследования : науч. журн. / Рос. акад. наук, Президиум РАН

3. 3. Вестник авиации и космонавтики : Всерос. аэрокосм. журн. / ЗАО "Изд. дом им. С. Скрынникова
4. 4. Авиапанорама : журн. авиац.-косм. комплекса/ ООО "Высокие технологии и инновации"
5. 5. Полет: Авиация. Ракетная техника. Космонавтика: Общерос. науч.-техн. журн. / Изд-во "Маши-ностроение"
6. 6. Аэрокосмический курьер / ЗАО "Издат. дом "Созвездие-4"

г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. Варианты контрольных заданий
2. Чернявский А.О. Применение метода конечных элементов в задачах расчета на прочность. / Учебное пособие - Челябинск, 2000. - 90 с.

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование ресурса в электронной форме	Библиографическое описание
1	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Ракетно-космическая техника. Машиностроение. Энциклопедия. Т. IV-22 : энциклопедия : в 2 книгах / А. П. Аджян, Э. Л. Аким, О. М. Алифанов, А. Н. Андреев. — Москва : Машиностроение, [б. г.]. — Книга 1 — 2012. — 925 с. — ISBN 978-5-94275-589-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/5808 (дата обращения: 20.11.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Дьяконов, В.П. Генерация и генераторы сигналов. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : ДМК Пресс, 2010. — 384 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/book/892
3	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Дьяконов, В.П. Энциклопедия компьютерной алгебры. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : ДМК Пресс, 2010. — 1264 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/book/1179
4	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Зарубин, В. С. Расчет теплонапряженных конструкций : учебное пособие / В. С. Зарубин, И. В. Станкевич. — Москва : Машиностроение, 2005. — 352 с. — ISBN 5-217-03291-X. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/768 (дата обращения: 20.11.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

9. Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса

Перечень используемого программного обеспечения:

1. Microsoft-Windows(бессрочно)
2. Microsoft-Office(бессрочно)

3. ANSYS-ANSYS Academic Multiphysics Campus Solution (Mechanical, Fluent, CFX, Workbench, Maxwell, HFSS, Simplorer, Designer, PowerArtist, RedHawk)(бессрочно)

Перечень используемых информационных справочных систем:

1. -База данных ВИНТИ РАН(бессрочно)

10. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
Практические занятия и семинары	110 (2)	Класс вычислительной техники, оснащенный современными ПК. Программное обеспечение: Microsoft Office, MathCad, NASTRAN, ANSYS