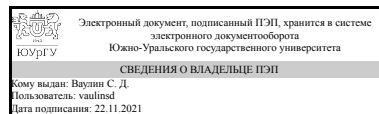


# ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор института  
Политехнический институт



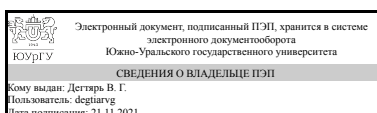
С. Д. Ваулин

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины 1.О.46 Метод конечных элементов  
для специальности 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей  
уровень Специалитет  
форма обучения очная  
кафедра-разработчик Летательные аппараты

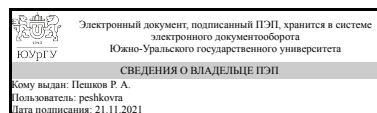
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей, утверждённым приказом Минобрнауки от 12.08.2020 № 979

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



В. Г. Дегтярь

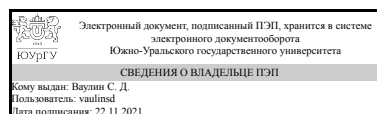
Разработчик программы,  
к.техн.н., доцент (кн)



Р. А. Пешков

СОГЛАСОВАНО

Руководитель специальности  
д.техн.н., проф.



С. Д. Ваулин

## 1. Цели и задачи дисциплины

Цель изучения дисциплины: - формирование системы профессиональных знаний и практических навыков решения задач механики твердого тела (применительно к инженерному анализу конструкций летательных аппаратов) с помощью метода конечных элементов. Задачи изучения дисциплины: - освоение знаний и навыков использования метода конечных элементов при проектировании конструкций ракетно-космической техники с помощью современных компьютерных технологий метода конечных элементов.

### Краткое содержание дисциплины

1. Применение пакета программ MathCad для выполнения математических расчетов.
2. Матричная формулировка соотношений теории упругости и строительной механики летательных аппаратов.
3. Основные понятия вариационных методов в механике сплошных сред.
4. Матричный метод перемещений для стержневых систем.
5. Метод конечных элементов в механике конструкций.
6. Конечные элементы сплошной среды.
7. Численное интегрирование в методе конечных элементов.
8. Соотношения метода конечных элементов в задачах динамики.
9. Особенности практических расчетов с использованием программного комплекса конечно-элементного анализа ANSYS.

## 2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ОПК-2 Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности	Знает: метод Ньютона (функции Find, Minerr), метод секущих (функция root), экстремум функции, характеристики современных программных пакетов, реализующих метод конечных элементов Умеет: решать системы линейных и нелинейных алгебраических уравнений, задачи нелинейного деформирования конструкции, моделировать элементы конструкций ракетно-космической техники с использованием одномерных, плоских и пространственных конечных элементов Имеет практический опыт: владения программно-вычислительным комплексом MathCad для выполнения инженерных расчетов, навыками оформления научно-технических отчетов в соответствии с ГОСТ и формирования матричных уравнений с использованием подматриц и выполнением матричных операций

## 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
1.О.13 Информационные технологии, 1.О.23 Современные программные комплексы	1.О.28 Компьютерный инженерный анализ конструкций авиационной и ракетной техники

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

Дисциплина	Требования
1.О.23 Современные программные комплексы	<p>Знает: основы конструирования деталей, узлов, механизмов и соединений с использованием твердотельного компьютерного моделирования в соответствии с единой системой конструкторской документации и на базе современных программных комплексов, основы конструирования деталей, узлов, механизмов и соединений с использованием твердотельного компьютерного моделирования в соответствии с единой системой конструкторской документации и на базе современных программных комплексов</p> <p>Умеет: выполнять графическую работу в соответствии с нормами единой системой конструкторской документации с использованием компьютерных технологий; разрабатывать конструкцию деталей узлов и отдельных механизмов ракетной и ракетно-космической техники, выполнять графическую работу в соответствии с нормами единой системой конструкторской документации с использованием компьютерных технологий; разрабатывать конструкцию деталей узлов и отдельных механизмов ракетной и ракетно-космической техники</p> <p>Имеет практический опыт: работы в стандартной программных комплексов различного вида и назначения; навыками конструирования узлов и агрегатов ракетной и ракетно-космической техники, работы в стандартных программных комплексов различного вида и назначения; навыками конструирования узлов и агрегатов ракетной и ракетно-космической техники</p>
1.О.13 Информационные технологии	<p>Знает: основные понятия информатики и информационных технологий; навыки и приёмы программирования на различных языках, основные понятия информатики и информационных технологий; назначение различных программных средств, применяемых при проектировании соответствующих объектов; принципы функционирования глобальной сети Интернет, протоколы обмена информацией в Интернете; методы и процессы сбора, передачи, обработки и накопления информации; законы и методы накопления, передачи и обработки информации с помощью компьютера</p> <p>Умеет: составлять алгоритмы и компьютерные программы на различных языках программирования, реализующие изученные методы, проводить их отладку, тестирование и</p>

	использовать её для решения конкретной задачи, разработать общую структуру информационной системы для автоматизации процессов разработки изделий; использовать программные средства при проектировании и исследованиях ракетно-космической техники; пользоваться системами поиска информации; использовать возможности вычислительной техники и программного обеспечения для решения задач обработки информации. Имеет практический опыт: составления компьютерных программ на различных языках программирования, проведения отладки, тестирования для решения конкретной задачи, владения приемами построения информационных систем в профессиональной деятельности, основными методами работы на ПЭВМ с прикладными программными средствами; использования соответствующих программных средств и различными поисковыми системами в Интернете для решения задач проектирования ракетно-космической техники.
--	--

#### 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч., 54,25 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		6	
Общая трудоёмкость дисциплины	108	108	
<i>Аудиторные занятия:</i>	48	48	
Лекции (Л)	24	24	
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	24	24	
Лабораторные работы (ЛР)	0	0	
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	53,75	53,75	
с применением дистанционных образовательных технологий	0		
Подготовка к зачету	20	20	
Выполнение контрольных заданий	33,75	33.75	
Консультации и промежуточная аттестация	6,25	6,25	
Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	зачет	

#### 5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР

1	Пакет программ MathCad для выполнения математических расчетов	2	0	2	0
2	Матричная формулировка соотношений теории упругости и строительной механики летательных аппаратов	4	2	2	0
3	Основные понятия вариационных методов в механике сплошных сред	2	2	0	0
4	Матричный метод перемещений для стержневых систем	4	2	2	0
5	Метод конечных элементов в механике конструкций	4	2	2	0
6	Конечные элементы сплошной среды	8	4	4	0
7	Численное интегрирование в методе конечных элементов	8	4	4	0
8	Соотношения метода конечных элементов в задачах динамики	8	4	4	0
9	Особенности практических расчетов с использованием программного комплекса конечно-элементного анализа ANSYS	8	4	4	0

## 5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	2	Матричная формулировка соотношений теории упругости и строительной механики летательных аппаратов	2
2	3	Основные понятия вариационных методов в механике сплошных сред	2
3	4	Матричный метод перемещений для стержневых систем	2
4	5	Метод конечных элементов в механике конструкций	2
5	6	Конечные элементы сплошной среды	4
6	7	Численное интегрирование в методе конечных элементов	4
7	8	Соотношения метода конечных элементов в задачах динамики	4
8	9	Особенности практических расчетов с использованием программного комплекса конечно-элементного анализа ANSYS	4

## 5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	1	Особенности использования программно-вычислительного комплекса MathCad при выполнении инженерных расчетов	2
2	2	Краткая характеристика и состав пакетов, реализующих метод конечных элементов	2
3	4	Расчет ферменной конструкции матричным методом перемещений. Построение геометрической модели конструкции. Системы координат. Матрицы узловых сил и смещений. Решение системы уравнений МКЭ.	2
4	5	Расчет ферменной конструкции методом конечных элементов.	2
5	6	Моделирование с использованием плоских и пространственных конечных элементов. Особенности закрепления модели.	4
6	7	Моделирование конструкций сложной формы. Приложение распределённой нагрузки	4
7	8	Определение собственных форм и частот конструкции	4
8	9	Расчет напряжений в оболочках (мембранах и баках) нагруженных давлением	2

9	9	Расчет напряжений в пластине при нагреве, напряжений диска при его вращении, пространственной фермы летательного аппарата	2
---	---	---	---

### 5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

### 5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС			
Подвид СРС	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс	Семестр	Кол-во часов
Подготовка к зачету	Сегерлинд, Л. Дж. Применение метода конечных элементов Пер. с англ. А. А. Шестакова; Под ред. Б. Е. Победри. - М.: Мир, 1979. - 392 с. ил.	6	20
Выполнение контрольных заданий	Кириянов, Д. В. Mathcad 13 Наиболее полн. рук. Д. В. Кириянов. - СПб.: БХВ-Петербург, 2006. - X,590 с. (с. 272-298) Басов, К. А. ANSYS Текст справ. пользователя К. А. Басов. - 2-е изд., стер. - М.: ДМК-Пресс, 2012. - 639 с. ил. (с. 556-561) Сегерлинд, Л. Дж. Применение метода конечных элементов Пер. с англ. А. А. Шестакова; Под ред. Б. Е. Победри. - М.: Мир, 1979. - 392 с. ил.	6	33,75

## 6. Текущий контроль успеваемости, промежуточная аттестация

Контроль качества освоения образовательной программы осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценивания результатов учебной деятельности обучающихся.

### 6.1. Контрольные мероприятия (КМ)

№ КМ	Се-мestr	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учи-тыва-ется в ПА
1	6	Текущий контроль	Контрольное задание-1	12	12	Контрольное задание осуществляется на последнем занятии изучаемых разделов с 1 по 2. Студенту дается задача. Задача состоит из расчетной и графической части. На решение задачи отводится 45 минут. При оценивании результатов мероприятия используется балльно-рейтинговая система оценивания результатов учебной деятельности обучающихся (утверждена приказом ректора от 24.05.2019 г. № 179). Критерии оценивания решения задачи: - расчет и графическая часть выполнены	зачет

						<p>верно – 12 баллов; - расчет выполнен верно, графическая часть имеет недочеты – 10 баллов; - расчет имеет недочеты, графическая часть выполнена верно – 8 баллов; - расчет и графическая часть имеют недочеты – 6 баллов; - расчет и графическая часть имеют грубые замечания – 4 балла; - задача не выполнена – 0 баллов. Максимальное количество баллов – 12. Весовой коэффициент мероприятия - 12.</p> <p>Зачтено: рейтинг обучающегося за мероприятие больше или равен 60 %.</p> <p>Не зачтено: рейтинг обучающегося за мероприятие менее 60 %</p>	
2	6	Текущий контроль	Контрольное задание-2	12	12	<p>Контрольное задание осуществляется на последнем занятии изучаемых разделов с 3 по 4. Студенту дается задача. Задача состоит из расчетной и графической части. На решение задачи отводится 45 минут. При оценивании результатов мероприятия используется балльно-рейтинговая система оценивания результатов учебной деятельности обучающихся (утверждена приказом ректора от 24.05.2019 г. № 179).</p> <p>Критерии оценивания решения задачи: - расчет и графическая часть выполнены верно – 12 баллов; - расчет выполнен верно, графическая часть имеет недочеты – 10 баллов; - расчет имеет недочеты, графическая часть выполнена верно – 8 баллов; - расчет и графическая часть имеют недочеты – 6 баллов; - расчет и графическая часть имеют грубые замечания – 4 балла; - задача не выполнена – 0 баллов. Максимальное количество баллов – 12. Весовой коэффициент мероприятия - 12.</p> <p>Зачтено: рейтинг обучающегося за мероприятие больше или равен 60 %.</p> <p>Не зачтено: рейтинг обучающегося за мероприятие менее 60 %</p>	зачет
3	6	Текущий контроль	Контрольное задание-3	12	12	<p>Контрольное задание осуществляется на последнем занятии изучаемых разделов с 5 по 6. Студенту дается задача. Задача состоит из расчетной и графической части. На решение задачи отводится 45 минут. При оценивании результатов мероприятия используется балльно-рейтинговая система оценивания результатов учебной деятельности обучающихся (утверждена приказом ректора от 24.05.2019 г. № 179).</p> <p>Критерии оценивания решения задачи: - расчет и графическая часть выполнены</p>	зачет

						<p>верно – 12 баллов; - расчет выполнен верно, графическая часть имеет недочеты – 10 баллов; - расчет имеет недочеты, графическая часть выполнена верно – 8 баллов; - расчет и графическая часть имеют недочеты – 6 баллов; - расчет и графическая часть имеют грубые замечания – 4 балла; - задача не выполнена – 0 баллов. Максимальное количество баллов – 12. Весовой коэффициент мероприятия - 12.</p> <p>Зачтено: рейтинг обучающегося за мероприятие больше или равен 60 %.</p> <p>Не зачтено: рейтинг обучающегося за мероприятие менее 60 %</p>	
4	6	Текущий контроль	Контрольное задание-4	12	12	<p>Контрольное задание осуществляется на последнем занятии изучаемых разделов с 7 по 8. Студенту дается задача. Задача состоит из расчетной и графической части. На решение задачи отводится 45 минут. При оценивании результатов мероприятия используется балльно-рейтинговая система оценивания результатов учебной деятельности обучающихся (утверждена приказом ректора от 24.05.2019 г. № 179).</p> <p>Критерии оценивания решения задачи: - расчет и графическая часть выполнены верно – 12 баллов; - расчет выполнен верно, графическая часть имеет недочеты – 10 баллов; - расчет имеет недочеты, графическая часть выполнена верно – 8 баллов; - расчет и графическая часть имеют недочеты – 6 баллов; - расчет и графическая часть имеют грубые замечания – 4 балла; - задача не выполнена – 0 баллов. Максимальное количество баллов – 12. Весовой коэффициент мероприятия - 12.</p> <p>Зачтено: рейтинг обучающегося за мероприятие больше или равен 60 %.</p> <p>Не зачтено: рейтинг обучающегося за мероприятие менее 60 %</p>	зачет
5	6	Текущий контроль	Контрольное задание-5	12	12	<p>Контрольное задание осуществляется на последнем занятии по разделу 9. Студенту дается задача. Задача состоит из расчетной и графической части. На решение задачи отводится 45 минут. При оценивании результатов мероприятия используется балльно-рейтинговая система оценивания результатов учебной деятельности обучающихся (утверждена приказом ректора от 24.05.2019 г. № 179).</p> <p>Критерии оценивания решения задачи: - расчет и графическая часть выполнены</p>	зачет



					<p>верно – 12 баллов; - расчет выполнен верно, графическая часть имеет недочеты – 10 баллов; - расчет имеет недочеты, графическая часть выполнена верно – 8 баллов; - расчет и графическая часть имеют недочеты – 6 баллов; - расчет и графическая часть имеют грубые замечания – 4 балла; - задача не выполнена – 0 баллов. Максимальное количество баллов – 12. Весовой коэффициент мероприятия - 12.</p> <p>Зачтено: рейтинг обучающегося по дисциплине больше или равен 60 %.</p> <p>Не зачтено: рейтинг обучающегося по дисциплине менее 60 %</p>		
6	6	Промежуточная аттестация	Мероприятие промежуточной аттестации в виде зачета (письменный опрос)	-	40	<p>Промежуточная аттестация включает в себя письменный опрос. Контрольное мероприятие промежуточной аттестации проводятся во время сдачи зачета. При оценивании результатов мероприятия используется балльно-рейтинговая система оценивания результатов учебной деятельности обучающихся (утверждена приказом ректора от 24.05.2019 г. № 179). Преподавателю предоставляется право задавать обучающимся дополнительные вопросы в рамках программы дисциплины.</p> <p>Письменный опрос из 5 вопросов в билете. Время, отведенное на опрос -40 минут. Правильный ответ на вопрос соответствует 8 баллам. Частично правильный ответ соответствует 5 баллу. Неправильный ответ на вопрос соответствует 0 баллов. Максимальное количество баллов – 40. Максимальное количество баллов за промежуточную аттестацию – 40. Весовой коэффициент мероприятия - 40.</p> <p>Зачтено: рейтинг обучающегося по дисциплине больше или равен 60 %.</p> <p>Не зачтено: рейтинг обучающегося по дисциплине менее 60 %</p>	зачет

## 6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной аттестации	Процедура проведения	Критерии оценивания
зачет	Промежуточная аттестация включает в себя письменный опрос. Контрольное мероприятие промежуточной аттестации проводятся во время сдачи зачета. При оценивании результатов мероприятия используется балльно-рейтинговая система оценивания результатов учебной деятельности обучающихся (утверждена приказом ректора от 24.05.2019 г.	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения

	<p>№ 179). Преподавателю предоставляется право задавать обучающимся дополнительные вопросы в рамках программы дисциплины. Письменный опрос из 5 вопросов в билете. Время, отведенное на опрос -40 минут. Правильный ответ на вопрос соответствует 8 баллам. Частично правильный ответ соответствует 5 баллу. Неправильный ответ на вопрос соответствует 0 баллов. Максимальное количество баллов – 40. Максимальное количество баллов за промежуточную аттестацию – 40. Весовой коэффициент мероприятия - 40. Зачтено: рейтинг обучающегося по дисциплине больше или равен 60 %. Не зачтено: рейтинг обучающегося по дисциплине менее 60 %</p>	
--	--	--

### 6.3. Оценочные материалы

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ					
		1	2	3	4	5	6
ОПК-2	Знает: метод Ньютона (функции Find, Minerr), метод секущих (функция root), экстремум функции, характеристики современных программных пакетов, реализующих метод конечных элементов	+			+		+
ОПК-2	Умеет: решать системы линейных и нелинейных алгебраических уравнений, задачи нелинейного деформирования конструкции, моделировать элементы конструкций ракетно-космической техники с использованием одномерных, плоских и пространственных конечных элементов		+			++	
ОПК-2	Имеет практический опыт: владения программно-вычислительным комплексом MathCad для выполнения инженерных расчетов, навыками оформления научно-технических отчетов в соответствии с ГОСТ и формирования матричных уравнений с использованием подматриц и выполнением матричных операций				+		+

Фонды оценочных средств по каждому контрольному мероприятию находятся в приложениях.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Печатная учебно-методическая документация

#### а) основная литература:

1. Зенкевич, О. Конечные элементы и аппроксимация О. Зенкевич, К. Морган; Пер. с англ. Б. И. Квасова; Под ред. Н. С. Бахвалова. - М.: Мир, 1986. - 318 с. ил.
2. Шуп, Т. Е. Прикладные численные методы в физике и технике Перевод с англ. С. Ю. Славянова; Под ред. С. П. Меркурьева. - М.: Высшая школа, 1990. - 254 с. ил.
3. Сегерлинд, Л. Дж. Применение метода конечных элементов Пер. с англ. А. А. Шестакова; Под ред. Б. Е. Победри. - М.: Мир, 1979. - 392 с. ил.
4. Басов, К. А. ANSYS Текст справ. пользователя К. А. Басов. - 2-е изд., стер. - М.: ДМК-Пресс, 2012. - 639 с. ил.

#### 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. Вестник ЮУрГУ, "Математическое моделирование и программирование"
2. Вестник ЮУрГУ, "Машиностроение"

г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. Варианты контрольных заданий

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

1. Варианты контрольных заданий

### Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование ресурса в электронной форме	Библиографическое описание
1	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Голованов, А.И. Метод конечных элементов в статике и динамике тонкостенных конструкций. [Электронный ресурс] / А.И. Голованов, О.Н. Тюленева, А.Ф. Шигабутдинов. — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2006. — 389 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/50293">http://e.lanbook.com/book/50293</a> — Загл. с экрана.
2	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Котович, А.В. Решение задач теории упругости методом конечных элементов. [Электронный ресурс] / А.В. Котович, И.В. Станкевич. — Электрон. дан. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. — 106 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/52244">http://e.lanbook.com/book/52244</a> — Загл. с экрана.
3	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Темис, Ю.М. Расчет напряженно-деформированного состояния конструкций методом конечных элементов. [Электронный ресурс] / Ю.М. Темис, Х.Х. Азметов. — Электрон. дан. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. — 51 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/52253">http://e.lanbook.com/book/52253</a> — Загл. с экрана.

Перечень используемого программного обеспечения:

1. Microsoft-Windows(бессрочно)
2. Microsoft-Office(бессрочно)
3. PTC-MathCAD(бессрочно)
4. ANSYS-ANSYS Academic Multiphysics Campus Solution (Mechanical, Fluent, CFX, Workbench, Maxwell, HFSS, Simplorer, Designer, PowerArtist, RedHawk)(бессрочно)

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Нет

### 8. 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	109 (2)	Класс вычислительной техники оснащенный современными ПК. Программное обеспечение: Microsoft Office, MathCad, ANSYS
Лекции	306 (2)	Компьютер, проектор.