

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Механико-математический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан механико-математического
факультета

 Захаров А.М.

"28" 09 2021 г.

Рабочая программа дисциплины

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ПЛОСКИХ ЗАДАЧ

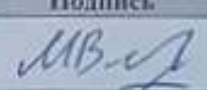

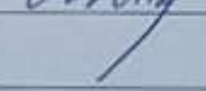
Направление подготовки бакалавриата
01.03.03 Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки бакалавриата
Механика деформируемых тел и сред

Квалификация (степень) выпускника
Бакалавр

Форма обучения
Очная

Саратов,
2021

Статус	ФИО	Подпись	Дата
Преподаватель-разработчик	Вильде М.В.		28.09.2021
Председатель НМК	Тышкевич С.В.		28.09.2021
Заведующий кафедрой	Коссович Л.Ю.		28.09.2021
Специалист Учебного управления			

1. Цели освоения дисциплины «Численные методы решения плоских задач»

Целями освоения дисциплины «Численные методы решения плоских задач» является ознакомление студентов с постановкой плоской задачи теории упругости, численными и численно-аналитическими методами решения соответствующих краевых задач, и выработка у студентов навыков решения плоских задачи теории упругости изученными методами.

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Численные методы решения плоских задач» включена в часть, формируемую участниками образовательных отношений, блока 1 «Дисциплины (модули)» и относится к дисциплинам по выбору ООП бакалавриата по направлению 01.03.03 «Механика и математическое моделирование» и профилю подготовки «Механика деформируемых тел и сред». На ее изучение отводится 108 часов (64 часа аудиторной работы, из них 32 часа практическая подготовка, 1 час КСР, 43 часа СРС.). В соответствии с учебным планом, занятия проводятся в шестом семестре. Согласно учебному плану направления и профиля подготовки данный курс в шестом семестре заканчивается зачетом.

Дисциплина «Численные методы решения плоских задач» связана с дисциплинами: «Математический анализ», «Алгебра», «Дифференциальные уравнения», «Функциональный анализ», «Комплексный анализ», «Аналитическая геометрия», «Уравнения математической физики», «Численные методы», в результате изучения которых студент должен знать теоретические основы дифференциального и интегрального исчисления, методов алгебры, дифференциальных уравнений, уравнений математической физики, численных методов решения уравнений, интегрирования, интерполирования. Студент должен уметь дифференцировать, интегрировать, решать системы линейных и нелинейных уравнений, аналитически и численно решать дифференциальные уравнения и задачи математической физики.

Знания и умения, полученные студентами при изучении дисциплины «Численные методы решения плоских задач» используются в дисциплинах: «Численные методы решения пространственных задач», «Основы теории пластичности», «Теория изгиба анизотропных пластин», «Колебательные процессы в упругих системах», «Пакеты прикладных программ», а также при прохождении учебных практик и выполнении выпускной квалификационной работы (бакалаврской работы).

3. Результаты обучения по дисциплине

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Результаты обучения
УК-1. Способен осуществлять поиск,	1.1_Б.УК-1. Анализирует задачу, выделяя ее базовые	Знать: – постановку основных

<p>критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.</p>	<p>составляющие. Осуществляет декомпозицию задачи.</p>	<p>плоских задач теории упругости; – основные этапы построения и исследования моделей, плоскую деформацию и обобщенное плоское напряженное состояние упругих тел.</p> <p>Уметь: – анализировать задачи, выделяя ее базовые составляющие; – осуществлять декомпозицию задачи.</p> <p>Владеть: – навыками анализа задачи с выделением ее базовых составляющих.</p>
	<p>2.1_Б.УК-1. Находит и критически анализирует информацию, необходимую для решения поставленной задачи.</p>	<p>Знать: – основные источники информации по плоским задачам теории упругости; – способы извлечения необходимой научно-технической информации из электронных и бумажных носителей по плоским задачам теории упругости.</p> <p>Уметь: – находить и критически анализировать информацию, необходимую для решения поставленной задачи.</p> <p>Владеть: – навыками критического анализа информации по применению методов решения плоских задач теории упругости к практическим задачам.</p>
	<p>3.1_Б.УК-1. Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивая их достоинства и недостатки.</p>	<p>Знать: – основные численные методы решения плоских задач теории упругости.</p> <p>Уметь: – оценить достоинства и недостатки различных численных методов решения плоских задач теории</p>

		<p>упругости.</p> <p>Владеть: – навыками выбора оптимального решения для поставленной задачи.</p>
	<p>4.1_Б.УК-1. Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки. Отличает факты от мнений, интерпретаций, оценок и т.д. в рассуждениях других участников деятельности.</p>	<p>Знать: – основные положения теории плоской деформации и обобщенного плоского напряженного состояния, их обоснование.</p> <p>Уметь: – грамотно, логично, аргументированно формировать собственные суждения и оценки в области методов решения плоских задач теории упругости; – отличать факты от мнений, интерпретаций, оценок и т.д. в рассуждениях других участников деятельности.</p> <p>Владеть: – навыками формирования собственных суждений и оценок в области применения плоских задач теории упругости; – навыками грамотного, логичного и аргументированного изложения своей позиции по вопросам применения методов решения плоских задач теории упругости.</p>
	<p>5.1_Б.УК-1. Определяет и оценивает практические последствия возможных решений задачи.</p>	<p>Знать: – основные математические модели плоской деформации и обобщенного плоского напряженного состояния упругих тел.</p> <p>Уметь: – определить практические последствия численного решения плоских задач теории упругости тем или иным методом; – оценить практические последствия численного</p>

		<p>решения плоских задач теории упругости.</p> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> – навыками определения и оценивания практических последствий применения численных решений плоских задач теории упругости к моделированию поведения реальных объектов.
<p>УК-2. Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих норм, имеющихся ресурсов и ограничений.</p>	<p>1.1_Б.УК-2. Формулирует в рамках поставленной цели проекта совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих ее достижение. Определяет ожидаемые результаты решения выделенных задач.</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> – основные этапы физического и математического моделирования при решении плоских задач теории упругости; – основные математические модели, связанные с плоской задачей теории упругости, и методы их исследования. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> – сформулировать совокупность взаимосвязанных задач в рамках поставленной цели; – определить ожидаемые результаты решения выделенных задач. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> – навыками формулировки совокупности взаимосвязанных задач для достижения поставленной цели; – навыками определения ожидаемых результатов решения поставленных задач.
	<p>2.1_Б.УК-2. Проектирует решение конкретной задачи проекта, выбирая оптимальный способ ее решения, исходя из действующих правовых норм и имеющихся ресурсов и ограничений.</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> – основные численные методы решения плоских задач теории упругости; – основные этапы физического и математического моделирования при решении плоских задач теории упругости.

		<p>Уметь: – спроектировать численное решение конкретной плоской задачи теории упругости, выбирая оптимальный способ ее решения, исходя из имеющихся ресурсов и ограничений.</p> <p>Владеть: – навыками проектирования решения плоских задач теории упругости, исходя из имеющихся ресурсов и ограничений.</p>
	<p>3.1_Б.УК-2. Решает конкретные задачи проекта заявленного качества и за установленное время.</p>	<p>Знать: – постановку и численные методы решения основных плоских задач теории упругости.</p> <p>Уметь: – правильно распределить время, выделенное на решение поставленной задачи; – решать конкретные задачи проекта заявленного качества и за установленное время.</p> <p>Владеть: – навыками постановки и численного решения плоских задач теории упругости за установленное время.</p>
	<p>4.1_Б.УК-2. Публично представляет результаты решения конкретной задачи проекта.</p>	<p>Знать: – основные этапы физического и математического моделирования при решении плоских задач теории упругости; – основные математические модели, связанные с плоской задачей теории упругости.</p> <p>Уметь: – публично представлять результаты решения</p>

		<p>конкретной задачи.</p> <p>Владеть: – навыками публичного представления результатов численного решения конкретной плоской задачи теории упругости.</p>
<p>УК-6. Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни.</p>	<p>1.1_Б.УК-6. Применяет знание о своих ресурсах и их пределах (личностных, ситуативных, временных и т.д.) для успешного выполнения порученной работы.</p>	<p>Знать: – свои ресурсы и их пределы (личностные, ситуативные, временные и т.д.).</p> <p>Уметь: – применять имеющиеся ресурсы (личностные, ситуативные, временные и т.д.) для успешного выполнения порученной работы.</p> <p>Владеть: – навыками использования имеющихся ресурсов (личностных, ситуативных, временных и т.д.) для успешного выполнения порученной работы.</p>
	<p>2.1_Б.УК-6. Понимает важность планирования перспективных целей деятельности с учетом условий, средств, личностных возможностей, этапов карьерного роста, временной перспективы развития деятельности и требований рынка труда.</p>	<p>Знать: – основы планирования целей деятельности.</p> <p>Уметь: – планировать цели деятельности с учетом условий, имеющихся средств, личностных возможностей, временной перспективы развития деятельности.</p> <p>Владеть: – навыками планирования целей деятельности при численном решении плоских задач теории упругости с учетом условий, средств, личностных возможностей, временной перспективы развития деятельности.</p>

	<p>3.1_Б.УК-6. Реализует намеченные цели деятельности с учетом условий, средств, личностных возможностей, этапов карьерного роста, временной перспективы развития деятельности и требований рынка труда.</p>	<p>Знать: – основы планирования целей деятельности.</p> <p>Уметь: – реализовывать намеченные цели деятельности с учетом условий, средств, личностных возможностей, временной перспективы развития деятельности.</p> <p>Владеть: – навыками реализации намеченных целей деятельности при численном решении плоских задач теории упругости с учетом условий, средств, личностных возможностей, временной перспективы развития деятельности.</p>
	<p>4.1_Б.УК-6. Критически оценивает эффективность использования времени и других ресурсов при решении поставленных задач, а также относительно полученного результата.</p>	<p>Знать: – основы планирования целей деятельности.</p> <p>Уметь: – критически оценить эффективность использования времени и других ресурсов при решении поставленных задач, а также относительно полученного результата.</p> <p>Владеть: – навыками корректировки плана в зависимости от эффективности использования времени и других ресурсов при решении поставленных задач, а также относительно полученного результата.</p>
	<p>5.1_Б.УК-6. Демонстрирует интерес к учебе и использует предоставляемые возможности для приобретения новых знаний и навыков.</p>	<p>Знать: – свои ресурсы и их пределы (личностные, ситуативные, временные и т.д.).</p> <p>Уметь: – видеть предоставленные возможности.</p>

		<p>Владеть:</p> <p>– способностью к использованию предоставляемых возможностей для приобретения новых знаний и навыков.</p>
<p>ПК-1. Способен составлять математические модели для расчета поведения элементов конструкций при силовом и температурном воздействиях.</p>	<p>1.1_Б.ПК-1. Демонстрирует знание классических уравнений механики и математической физики, основных инженерных теорий деформирования стержней, пластин и оболочек.</p>	<p>Знать:</p> <p>– классические уравнения механики и математической физики, основные положения и уравнения теории упругости, численные методы решения плоских задач теории упругости.</p> <p>Уметь:</p> <p>– подобрать и сформулировать в соответствии с поставленной задачей классические уравнения механики и математической физики, основные положения и уравнения теории упругости, численные методы решения плоских задач теории упругости.</p> <p>Владеть:</p> <p>– научной терминологией и математическими методами, необходимыми для постановки плоских задач теории упругости.</p>
	<p>2.1_Б.ПК-1. Способен осуществить сбор и обработку исходных данных по геометрии и физико-механическим характеристикам заданного элемента конструкции.</p>	<p>Знать:</p> <p>– основные способы сбора и обработки информации.</p> <p>Уметь:</p> <p>– осуществлять сбор и обработку данных о геометрии и физико-механических характеристиках элементов конструкций, работающих в условиях плоской деформации либо обобщенного плоского напряженного состояния.</p>

		<p>Владеть:</p> <p>– навыками получения путем непосредственного измерения либо использования информационных ресурсов данных о геометрических и физико-механических характеристик, необходимых для численного решения плоских задач теории упругости, и методами их обработки.</p>
<p>3.1_Б.ПК-1. Способен сформулировать и обосновать математическую модель, описывающую деформацию заданного элемента под действием заданных нагрузок.</p>		<p>Знать:</p> <p>– основные модели плоской деформации и обобщенного плоского напряженного состояния упругих тел и области их применимости.</p> <p>Уметь:</p> <p>– выбрать, сформулировать и обосновать математическую модель, приводящую к постановке плоской задачи теории упругости, в соответствии с поставленной практической задачей.</p> <p>Владеть:</p> <p>– навыками анализа и обобщения существующего опыта численного решения плоских задач теории упругости, научной терминологией и математическими методами, необходимыми для составления и обоснования модели, приводящей к плоской задаче теории упругости.</p>
<p>4.1_Б.ПК-1. Способен составить конечно-элементную модель на основании данных о геометрии, физико-механических свойствах и нагружении элемента конструкции.</p>		<p>Знать:</p> <p>– основные положения метода конечных элементов и принципы работы современных программных пакетов, особенности применения метода конечных элементов при расчете плоской</p>

		<p>деформации или обобщенного плоского напряженного состояния.</p> <p>Уметь: – сформулировать математическую постановку плоских задач теории упругости в терминах метода конечных элементов.</p> <p>Владеть: – навыками представления постановки плоских задач теории упругости в различных формах, в том числе и в форме, подходящей для конечно-элементной реализации.</p>	
	<p>5.1_Б.ПК-1. Способен оценить эффективность построенной модели с точки зрения точности расчета и экономии вычислительных ресурсов.</p>	<p>Знать: – основные гипотезы, проводящие к плоской задаче теории упругости, и пределы их применимости, методы построения уточненных двумерных теорий растяжения пластин.</p> <p>Уметь: – определить порядок погрешностей расчета, связанных с погрешностями применяемой модели, погрешностями применяемых численных методов решения плоских задач теории упругости, а также вычислительными погрешностями.</p> <p>Владеть: – навыками определения пределов применимости и погрешности моделей при численном решении плоских задач теории упругости, оценки вычислительных погрешностей и степени затраты вычислительных ресурсов при использовании известных численных методов решения плоских задач теории упругости.</p>	
ПК-2.	Способен к	1.1_Б.ПК-2. Знает основные	Знать:

<p>проведению расчетов поведения элементов конструкций при силовом и температурном воздействиях с использованием прикладных приближенных теорий и метода конечных элементов.</p>	<p>методы решения задач прикладных теорий стержней, пластин и оболочек, а также основы теории метода конечных элементов.</p>	<p>– методы численного решения плоских задач теории упругости, математические методы, необходимые для решения таких задач.</p> <p>Уметь: – выбрать метод численного решения плоской задачи теории упругости в соответствии с поставленной практической задачей.</p> <p>Владеть: – навыками оценки применимости того или иного численного метода решения плоских задач теории упругости для решения поставленной практической задачи.</p>
	<p>2.1_Б.ПК-2. Способен получить и реализовать решение задачи о деформировании элемента конструкции под действием заданной нагрузки в случаях, когда задача допускает аналитическое решение.</p>	<p>Знать: – основные плоские задачи теории упругости, допускающие аналитическое решение, постановки и методы решения таких задач.</p> <p>Уметь: – получить аналитическое решение плоской задачи теории упругости и реализовать его с использованием современных программных пакетов.</p> <p>Владеть: – методами математического анализа, комплексного анализа и теории дифференциальных уравнений в частных производных в применении к плоским задачам теории упругости, современной вычислительной техникой.</p>
	<p>3.1_Б.ПК-2. Способен построить и реализовать конечно-элементную расчетную схему с</p>	<p>Знать: – области и пределы применимости постановок и методов численного</p>

	<p>применением современных программных комплексов.</p>	<p>решения плоских задач теории упругости.</p> <p>Уметь: – оценить возможность постановки плоской задачи теории упругости и замены трехмерной сетки конечных элементов на двумерную.</p> <p>Владеть: – навыками аналитического и численного решения плоских задач теории упругости и тестирования конечно-элементной расчетной схемы путем сравнения с аналитическим решением для некоторого частного случая, допускающего такое решение, а также с решением, полученным другим численным методом.</p>
	<p>4.1_Б.ПК-2. Способен подобрать и обосновать разбиение конструкции на конечные элементы, проанализировать влияние размеров сетки на точность расчетов.</p>	<p>Знать: – основные выводы общей теории решения плоских задач теории упругости о характере изменчивости напряженно-деформированного состояния в зависимости от формы тела и приложенных нагрузок, случаи появления быстро изменяющихся напряженных состояний (концентрация напряжений).</p> <p>Уметь: – качественно описать поведение плоского напряженно-деформированного состояния элемента конструкции заданной формы под действием заданной нагрузки.</p> <p>Владеть: – навыками аналитического и численного решения плоских задач теории упругости и определения погрешности конечно-</p>

		элементарной расчетной схемы, в том числе влияния размеров сетки, путем сравнения с аналитическим решением для некоторого частного случая, допускающего такое решение, и с численным решением другим методом.
	<p>5.1_Б.ПК-2. Может провести верификацию полученных результатов и самостоятельно сформулировать выводы на основе анализа проведенных расчетов.</p>	<p>Знать: – научную литературу в области плоских задач теории упругости, общие закономерности поведения плоского напряженно-деформированного состояния при действии заданной нагрузки.</p> <p>Уметь: – оценить достоверность полученного численного решения плоской задачи теории упругости путем сравнения с решениями аналогичных задач, полученными другими исследователями, сравнения решений одной и той же задачи, полученных разными методами, сопоставления полученного решения с общими физическими закономерностями и имеющимся практическим опытом.</p> <p>Владеть: – навыками выявления качественных характеристик поведения плоского напряженно-деформированного состояния элемента конструкции по количественным данным расчетов, формулировки выводов по полученным результатам, необходимой для этого научной и технической терминологией.</p>
ПК-5.	Способен	<p>1.1_Б.ПК-5. Обладает</p> <p>Знать:</p>

<p>подготовить планы исследований в области механики деформируемых тел (сред) и рекомендации по практическому применению научных результатов</p>	<p>навыками поиска, анализа и обобщения научно-технической информации в области механики деформируемых тел и сред.</p>	<p>– основные методы и способы сбора, обработки, анализа и обобщения информации в области численного решения плоских задач теории упругости.</p> <p>Уметь: – находить и систематизировать источники для сбора информации в области численного решения плоских задач теории упругости.</p> <p>Владеть: – навыками анализа и обобщения имеющейся научно-технической информации о методах численного решения плоских задач теории упругости .</p>
	<p>2.1 Б.ПК-5. Может разработать план научно-исследовательской деятельности в соответствии с поставленной задачей на основе передового отечественного и международного опыта.</p>	<p>Знать: – цели, задачи и этапы научно-исследовательской деятельности в области разработки численных методов решения плоских задач теории упругости.</p> <p>Уметь: – сформулировать цели и задачи научно-исследовательской деятельности для случая конкретной практической задачи, составить примерный план.</p> <p>Владеть: – научно-технической терминологией, необходимой для грамотного составления планов научно-исследовательской деятельности в области разработки численных методов решения плоских задач теории упругости.</p>
	<p>3.1 Б.ПК-5. Способен</p>	<p>Знать:</p>

	<p>определить возможность применения известных результатов научных исследований для заданной практической цели и сформулировать рекомендации по внедрению.</p>	<p>– основные положения и пределы применимости двумерных теорий растяжения пластин, основные методы расчета на прочность по данным о напряженном состоянии элемента конструкции.</p> <p>Уметь: – оценить возможность применения результатов научных исследований для заданной практической цели с точки зрения применимости используемой теории, точности метода расчета и других параметров.</p> <p>Владеть: – навыками определения соответствия между требованиями практики и возможностями математической теории и численных методов решения плоских задач теории упругости.</p>
--	--	---

4. Структура и содержание дисциплины «Численные методы решения плоских задач»

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов, 32 часа практическая подготовка.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)							Формы текущего контроля успеваемости и (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия		КСР	СРС	Контроль	Всего	
					Общая трудоемкость	Из них – практическая подготовка					
1	Плоская задачи теории упругости	6	1	2	2	2	-	2	-	6	Устный опрос
2	Численно-аналитические методы решения плоских задач: метод разложения по модам	6	2-5	6	6	6	-	5	-	17	Устный опрос
3	Определение собственных частот планарных колебаний прямоугольной пластины	6	6-7	6	6	6	-	10	-	22	Устный опрос, проверка решения практических задач
4	Вариационные методы решения плоских задач	6	8-9	4	4	4	1	6	-	15	Устный опрос, проверка решения практических задач
5	Примеры решения задач	6	10-12	6	6	6	-	8	-	20	Контрольная работа
6	Метод конечного элемента в применении к плоским задачам	6	13-15	6	6	6	-	10	-	22	Устный опрос, проверка решения практических задач
7	Обзор других численных методов решения плоских задач	6	16	2	2	2		2	-	6	
8	Промежуточная аттестация	6	-	-	-	-	-	-	-	-	Зачет

9	Общая трудоемкость дисциплины – 108 часов, 32 часа практическая подготовка	6		32	32	32	1	43	-	108	
---	---	---	--	----	----	----	---	----	---	-----	--

Содержание дисциплины

Раздел 1. Плоская задача теории упругости

Две модели плоской задачи теории упругости. Основные уравнения плоской задачи теории упругости. Основные граничные задачи. Определение функции напряжений. Уравнение для функции напряжений.

Раздел 2. Численно-аналитические методы решения плоских задач: метод разложения по модам

Гармонические волны. Моды. Круговая частота, длина волны, волновое число, период колебаний, фаза колебаний. Фазовая и групповая скорости. Дисперсия. Дисперсионные уравнения и дисперсионные кривые. Вывод дисперсионных уравнений для бесконечной полосы с различными граничными условиями на боковых сторонах. Соотношения ортогональности. Полнота системы мод. Методы составления разрешающей системы алгебраических уравнений при удовлетворении граничным условиям на сечении: метод коллокаций, метод взвешенных невязок, энергетический метод. Метод разложения по модам в статических задачах. Примеры решения задач.

Раздел 3. Определение собственных частот планарных колебаний прямоугольной пластины

Исследование дисперсионных уравнений. Построение дисперсионных кривых. Интерпретация дисперсионных кривых. Построение разрешающей системы алгебраических уравнений при удовлетворении граничным условиям на торцах. Поиск собственных или резонансных частот, построение спектральных кривых. Интерпретация спектральных кривых на основе представления о модах. Объяснение существования плато.

Раздел 4. Вариационные методы решения плоских задач

Вариационные принципы теории упругости. Потенциальная энергия деформации в случае плоской задачи. Вариационное уравнение Лагранжа в случае плоской задачи. Вариационная формула Кастилиано в случае плоской задачи. Вывод уравнения совместности деформаций. Применение вариационной формулы Кастилиано к плоской задаче. Применение вариационного принципа Лагранжа к статическим и динамическим плоским задачам. Метод Ритца.

Раздел 5. Примеры решения задач

Применение вариационной формулы Кастилиано к задаче о растяжении прямоугольной пластинки усилиями, распределенными на торцах по заданному закону. Применение вариационного уравнения Лагранжа к задаче о деформировании пластинки в форме кругового кольца. Метод Ритца в задаче о планарных колебаниях круглой пластинки.

Раздел 6. Метод конечного элемента в применении к плоским задачам

Основные принципы МКЭ. Типы конечных элементов. Матрица жесткости элемента. Матрица массы элемента. Составление разрешающей системы алгебраических уравнений и методы её решения. Обоснование сходимости. Примеры решения задач.

Раздел 7. Обзор других численных методов решения плоских задач

Разностные методы. Методы теории потенциалов. Метод граничных интегральных уравнений. Метод граничного элемента. Методы решения плоских задач для вязкоупругих тел. Методы решения нелинейных плоских задач.

Темы практических занятий по дисциплине «Численные методы решения плоских задач»

1. Вывод дисперсионных уравнений и их анализ.
2. Решение задач для прямоугольных областей методом разложения по модам.
3. Планарные колебания прямоугольных пластин.
4. Решение плоских задач вариационными методами, основанными на вариационном принципе Лагранжа.
5. Решение плоских задач вариационными методами, основанными на вариационной формуле Кастилиано.
6. Решение плоских задач разностными методами.
7. Решение плоских задач методом конечного элемента.

5. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины

Для реализации компетентного подхода в учебном процессе применяются следующие образовательные технологии:

- 1) при проведении лекционных занятий: информационные лекции, проблемные лекции, лекции беседы, лекции дискуссии, лекции с заранее запланированными ошибками;
- 2) при проведении практических занятий: традиционные занятия, занятия исследования, проблемные ситуации, ситуации с ошибкой;
- 3) при организации самостоятельной работы студентов: поиск и обработка информации, в том числе с использованием информационно-телекоммуникационных технологий; исследование проблемной ситуации; постановка и решение задач из предметной области; отработка навыков применения стандартных методов к решению задач предметной области.

В рамках занятий предусмотрена практическая подготовка, целью которой является развитие профессиональных навыков при выполнении

заданий, связанных с постановкой и численным решением плоских задач теории упругости.

Успешное освоение материала курса предполагает большую самостоятельную работу студентов и руководство этой работой со стороны преподавателей. Применяются следующие формы контроля: устный опрос, проверка решения практических задач, контрольная работа.

При обучении лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов используются подходы, способствующие созданию безбарьерной образовательной среды: технологии дифференциации и индивидуального обучения, применение соответствующих методик по работе с инвалидами, использование средств дистанционного общения, проведение дополнительных индивидуальных консультаций по изучаемым теоретическим вопросам и практическим занятиям, оказание помощи при подготовке к промежуточной аттестации. Подготовка, при необходимости, учебных и контрольно-измерительных материалов в формах, доступных для изучения студентами с особыми образовательными потребностями (для студентов с нарушениями зрения учебные материалы подготавливаются с применением укрупненного шрифта, используются аудиозаписи занятий; для студентов с нарушением слуха предоставляются электронные лекции, печатные раздаточные материалы с заданиями для самостоятельной работы).

При необходимости, для подготовки к ответу на практическом занятии, студентам с инвалидностью и студентам с ограниченными возможностями здоровья среднее время увеличивается в 1,5–2 раза по сравнению со средним временем подготовки обычного студента.

Для студентов с инвалидностью или с ограниченными возможностями здоровья форма промежуточной аттестации устанавливается с учетом индивидуальных психофизических особенностей (устно, письменно на бумаге, письменно на компьютере, в форме тестирования и т.п.). Промежуточная аттестация по дисциплине может проводиться в несколько этапов в форме рубежного контроля по завершению изучения отдельных тем дисциплины.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины «Численные методы решения плоских задач»

Самостоятельная внеаудиторная работа студентов проводится в форме изучения и анализа лекционного материала, изучения отдельных теоретических вопросов по предлагаемой литературе, подбора дополнительных источников для извлечения научно-технической информации, связанной с проблемами, изучаемыми в рамках данной

дисциплины и самостоятельного решения задач с дальнейшим их разбором или обсуждением на аудиторных занятиях, подготовки к промежуточной аттестации.

Самостоятельная аудиторная работа студентов проводится в форме самостоятельного решения задач на практических занятиях с дальнейшим их разбором и обсуждением; выполнения контрольных работ; поиска решений проблемных ситуаций, предложенных на лекциях и практических занятиях; поиска и устранения ошибок, заложенных в представлении материала преподавателем и допущенных другими студентами.

Текущий контроль усвоения дисциплины «Численные методы решения плоских задач» проводится в форме устных опросов на лекционных и практических занятиях, разбора и обсуждения решаемых задач на практических занятиях, контрольной работы на тему «Примеры решения плоских задач методом разложения по модам и вариационными методами».

Примеры типовых заданий для контрольной работы:

Задача 1

Решить задачу о растяжении прямоугольной пластины усилиями, приложенными на торцах. На боковых сторонах ставятся условия жесткой заделки. Применить метод, основанный на использовании вариационной формулы Кастилиано. Ограничится первым приближением.

Задача 2

Определить низшую собственную частоту планарных колебаний круглой пластинки, используя метод Ритца. Ограничится первым приближением.

Задача 3

Составить разрешающую систему уравнений для задачи о колебаниях прямоугольной пластины, возбуждаемых нормальными нагрузками, приложенными на торцах, методом разложения по модам. На боковых сторонах прямоугольника ставятся условия свободного края.

Задача 4

Вывести дисперсионное уравнение для двухслойной пластины-полосы, на боковых сторонах которой ставятся условия жесткой заделки. Проанализировать это уравнение и указать последовательность действий при численном построении дисперсионных кривых.

Задача 5

Получить разрешающее уравнение для задачи о статическом растяжении прямоугольника, используя метод разложения по функциям Папковича. На боковых сторонах прямоугольника ставятся условия свободного края. На торцах задаются нормальные и касательные напряжения, распределенные по произвольному закону.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Численные методы решения плоских задач» проводится в форме зачета в шестом семестре.

Список вопросов к устному зачету

1. Две модели плоской задачи теории упругости.
2. Основные уравнения плоской задачи теории упругости.
3. Основные граничные задачи.
4. Определение функции напряжений.
5. Уравнение для функции напряжений.
6. Гармонические волны.
7. Моды.
8. Круговая частота, длина волны, волновое число, период колебаний, фаза колебаний.
9. Фазовая и групповая скорости.
10. Дисперсия.
11. Дисперсионные уравнения и дисперсионные кривые.
12. Вывод дисперсионных уравнений для бесконечной полосы с различными граничными условиями на боковых сторонах.
13. Соотношения ортогональности.
14. Полнота системы мод.
15. Методы составления разрешающей системы алгебраических уравнений при удовлетворении граничным условиям на сечении: метод коллокаций, метод взвешенных невязок, энергетический метод.
16. Метод разложения по модам в статических задачах.
17. Примеры решения задач.
18. Исследование дисперсионных уравнений.
19. Построение дисперсионных кривых.
20. Интерпретация дисперсионных кривых.
21. Построение разрешающей системы алгебраических уравнений при удовлетворении граничным условиям на торцах.
22. Поиск собственных или резонансных частот, построение спектральных кривых.
23. Интерпретация спектральных кривых на основе представления о модах.
24. Объяснение существования плато.
25. Вариационные принципы теории упругости.
26. Потенциальная энергия деформации в случае плоской задачи.
27. Вариационное уравнение Лагранжа в случае плоской задачи.
28. Вариационная формула Кастилиано в случае плоской задачи.
29. Вывод уравнения совместности деформаций.
30. Применение вариационной формулы Кастилиано к плоской задаче.
31. Применение вариационного принципа Лагранжа к статическим и динамическим плоским задачам.
32. Метод Ритца.

33. Применение вариационной формулы Кастилиано к задаче о растяжении прямоугольной пластинки усилиями, распределенными на торцах по заданному закону.
34. Применение вариационного уравнения Лагранжа к задаче о деформировании пластинки в форме кругового кольца.
35. Метод Ритца в задаче о планарных колебаниях круглой пластинки.
36. Основные принципы МКЭ.
37. Типы конечных элементов.
38. Матрица жесткости элемента.
39. Матрица массы элемента.
40. Составление разрешающей системы алгебраических уравнений и методы её решения.
41. Обоснование сходимости.
42. Примеры решения задач.
43. Разностные методы.
44. Методы теории потенциалов.
45. Метод граничных интегральных уравнений.
46. Метод граничного элемента.
47. Методы решения плоских задач для вязкоупругих тел.
48. Методы решения нелинейных плоских задач.

7. Данные для учета успеваемости студентов в БАРС

Таблица 1. Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
6	15	0	20	15	0	25	25	100

Программа оценивания учебной деятельности студента

6 семестр

Лекции – от 0 до 15 баллов

Оценивается посещаемость, участие в обсуждении проблемных ситуаций, участие в дискуссиях и др. за один семестр.

Посещаемость – от 0 до 6 баллов:

0 баллов – не посещал лекции или присутствовал на 1-2 лекциях;

2 балла – присутствовал на 3-6 лекциях;

4 балла – присутствовал на 7-12 лекциях;

6 баллов – присутствовал на 13-16 лекциях.

Активность (участие в обсуждении проблемных ситуаций, участие в дискуссиях и др.) – от 0 до 9 баллов:

0 баллов – не участвовал в обсуждении проблемных ситуаций, в дискуссиях и др.;

1 балл – принимал участие в обсуждении проблемных ситуаций, в дискуссиях и др. на 1-2 лекциях;

2 балла – принимал участие в обсуждении проблемных ситуаций, в дискуссиях и др. на 3-5 лекциях;

3 балла – принимал участие в обсуждении проблемных ситуаций, в дискуссиях и др. на 6-8 лекциях;

6 баллов – принимал участие в обсуждении проблемных ситуаций, в дискуссиях и др. на 12-14 лекциях;

9 баллов – принимал участие в обсуждении проблемных ситуаций, в дискуссиях и др. на 15-16 лекциях.

Лабораторные занятия – 0 баллов

Не предусмотрены.

Практические занятия – от 0 до 20 баллов

Посещаемость – от 0 до 8 баллов:

0 баллов – не посещал лекции или присутствовал на 1-2 практических занятиях;

2 балла – присутствовал на 3-6 практических занятиях;

- 4 балла – присутствовал на 7-10 практических занятиях;
- 6 баллов – присутствовал на 11-14 практических занятиях;
- 8 баллов – присутствовал на 15-16 практических занятиях.

Активность (самостоятельность при решении задач, правильность решения задач, участие в обсуждении решений, поиск и устранение ошибок в решениях, допущенных другими участниками образовательного процесса) – от 0 до 12 баллов:

- 0 баллов – не проявлял активности на практических занятиях;
- 3 балла – проявил активность на 1-3 практических занятиях;
- 6 баллов – проявил активность на 4-6 практических занятиях;
- 9 баллов – проявил активность на 7-9 практических занятиях;
- 12 баллов – проявил активность на 10-15 практических занятиях.

Самостоятельная работа – от 0 до 15 баллов

- 0 баллов – выполнено менее 5% домашних заданий;
- 5 баллов – выполнено от 5% до 25% домашних заданий;
- 8 баллов – выполнено от 26% до 50% домашних заданий;
- 12 баллов – выполнено от 51% до 75% домашних заданий;
- 15 баллов – выполнено от 76% до 100% домашних заданий.

Автоматизированное тестирование – 0 баллов

Не предусмотрено.

Другие виды учебной деятельности – от 0 до 25 баллов

Контрольная работа оценивается от 0 до 25 баллов, в том числе:

- правильность и степень самостоятельности постановки задачи – от 0 до 5 баллов;
- правильность и степень самостоятельности решения – от 0 до 15 баллов;
- правильность и степень самостоятельности анализа и интерпретации полученных результатов – от 0 до 5 баллов.

Промежуточная аттестация – от 0 до 25 баллов

Промежуточная аттестация проводится в форме устного экзамена.

При проведении промежуточной аттестации:

- ответ на «отлично» оценивается от 20 до 25 баллов;
- ответ на «хорошо» оценивается от 13 до 19 баллов;
- ответ на «удовлетворительно» оценивается от 6 до 12 баллов;
- ответ на «неудовлетворительно» оценивается от 0 до 5 баллов.

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за 6 семестр по дисциплине «Численные методы решения плоских задач» составляет 100 баллов.

Таблица 2. Перерасчет полученной студентом суммы баллов по дисциплине «Численные методы решения плоских задач» в оценку

65-100 баллов	«зачтено»
0-64 балла	«не зачтено»

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Численные методы решения плоских задач»

а) литература:

1. Бегун П.И., Кормилицын О.П. Прикладная механика: учебник. Санкт-Петербург: Политехника, 2006. ✓

2. Победря Б.Е. Численные методы в теории упругости и пластичности. Изд-во Московского университета, 1995. ✓

б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. ОС Windows (лицензионное ПО) или ОС Unix/Linux (свободное ПО)

2. Microsoft Office (лицензионное ПО) или Open Office/Libre Office (свободное ПО)

3. Браузеры Internet Explorer, Google Chrome, Opera и др. (свободное ПО).

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины «Численные методы решения плоских задач»

Для проведения занятий по дисциплине «Численные методы решения плоских задач», предусмотренной учебным планом ООП бакалавриата по направлению 01.03.03 «Механика и математическое моделирование» и профилю подготовки «Механика деформируемых тел и сред», имеется необходимая материально-техническая база, соответствующая действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам:

- мультимедийная лекционная аудитория, оснащенная мультимедийными проекторами, маркерными досками для демонстрации учебного материала;

- специализированные классы, предназначенные для проведения практических занятий;

- библиотечный фонд, укомплектованный печатными изданиями, перечисленными в разделе 8 в необходимом количестве;

- электронная библиотека;

- специально оборудованные помещения для самостоятельной работы обучающихся с компьютерным оборудованием и доступом к сети Интернет.

Практическая подготовка осуществляется в специализированном структурном подразделении университета «Образовательно-научный институт наноструктур и биосистем», который располагает оборудованием, необходимым для проведения практических занятий по дисциплинам направления подготовки 01.03.03 «Механика и математическое моделирование» (профиль «Механика деформируемых тел и сред»).

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки: 01.03.03 «Механика и математическое моделирование», профилю подготовки: «Механика деформируемых тел и сред».

Автор: д.ф.-м.н., профессор кафедры математической теории упругости и биомеханики Вильде М.В.

Программа одобрена на заседании кафедры математической теории упругости и биомеханики от 28.09.2021 года, протокол № 3.