

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

« 28 » апреля 20 23 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: Вычислительная механика
(наименование)

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

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

Общая трудоёмкость: 216 (6)
(часы (ЗЕ))

Направление подготовки: 15.03.03 Прикладная механика
(код и наименование направления)

Направленность: Прикладная механика (общий профиль, СУОС)
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Формирование комплекса знаний, умений и навыков в области вычислительной механики, основных численных методов решения задач прикладной механики, конструированию численных алгоритмов, оценки их работоспособности, точности и практической реализации на современных ЭВМ.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Численные методы решения краевых задач прикладной механики.
Технологии построения вычислительных алгоритмов и реализации их на ЭВМ.

1.3. Входные требования

Знание основ программирования. Знания основ вычислительной математики и численных методов. Знание основ теории упругости. Владение языками программирования. Навыки построения программ и алгоритмов с использованием ЭВМ. Навыки постановки задач прикладной механики. Знания, умения и навыки работы с отчетной документацией.

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
ОПК-11	ИД-1ОПК-11	Знает проблемы и задачи прикладной механики	Знает проблемы и задачи прикладной механики	Собеседование
ОПК-11	ИД-2ОПК-11	Умеет решать задачи прочности, динамики, надежности с привлечением физико-математического аппарата	Умеет решать задачи прочности, динамики, надежности с привлечением физико-математического аппарата	Защита лабораторной работы
ОПК-11	ИД-3ОПК-11	Владеет навыками применения компьютерных технологий для решения задач прикладной механики	Владеет навыками применения компьютерных технологий для решения задач прикладной механики	Защита лабораторной работы
ОПК-13	ИД-1ОПК-13	Знает нормативы и требования подготовки технической документации	Знает нормативы и требования подготовки технической документации	Собеседование
ОПК-13	ИД-2ОПК-13	Умеет применять методы компьютерных технологий в профессиональной деятельности	Умеет применять методы компьютерных технологий в профессиональной деятельности	Защита лабораторной работы

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ОПК-13	ИД-3ОПК-13	Владеет навыками использования методов информационных технологий для подготовки конструкторско-технологической документации, с соблюдением основных требований информационной безопасности	Владеет навыками использования методов информационных технологий для подготовки конструкторско-технологической документации, с соблюдением основных требований информационной безопасности	Защита лабораторной работы
ПКО-3	ИД-1ПКО-3	Знает современные методы и средства, численные методы, алгоритмические языки, при проектировании машин, конструкций приборов и аппаратуры.	Знает современные методы и средства, численные методы, алгоритмические языки, при проектировании машин, конструкций приборов и аппаратуры.	Собеседование
ПКО-3	ИД-2ПКО-3	Умеет решать задачи прочности, устойчивости, долговечности и надежности конструкций приборов и аппаратуры с применением современных программных комплексов	Умеет решать задачи прочности, устойчивости, долговечности и надежности конструкций приборов и аппаратуры с применением современных программных комплексов и прикладных инженерных пакетов	Защита лабораторной работы
ПКО-3	ИД-3ПКО-3	Владеет навыками применения современных программных комплексов к решению проблем прикладной механики	Владеет навыками применения современных программных комплексов и прикладных инженерных пакетов к решению проблем прикладной механики	Защита лабораторной работы

3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		6	7
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	89	54	35
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	26	18	8
- лабораторные работы (ЛР)	59	34	25
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)			
- контроль самостоятельной работы (КСР)	4	2	2
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	91	54	37
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36		36
Дифференцированный зачет			
Зачет	9	9	
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	216	108	108

4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
6-й семестр				
Основы метода конечных разностей (МКР).	6	8	0	22
Основные понятия и определения МКР, сетки и сеточные функции, аппроксимация дифференциальных операторов. Понятие разностной схемы, устойчивость и сходимость, требования. Явные и неявные разностные схемы. Интегро-интерполяционный метод. МКР для многомерных задач.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Метод конечных элементов (МКЭ) в задачах статики.	12	26	0	32
Основные понятия МКЭ, обозначения и соотношения, классификация конечных элементов. Принцип возможных перемещений. Треугольный симплекс-элемент. Осесимметричный конечный элемент. Формирование глобальной матрицы жесткости и вектора узловых сил системы конечных элементов, общая блок-схема МКЭ. Конечные элементы с нелинейной аппроксимацией. Изопараметрические конечные элементы.				
ИТОГО по 6-му семестру	18	34	0	54
7-й семестр				
МКЭ в задачах динамики.	8	25	0	37
Матричное уравнение движения. Задачи на собственные значения. Методы решения матричного уравнения движения.				
ИТОГО по 7-му семестру	8	25	0	37
ИТОГО по дисциплине	26	59	0	91

Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Метод конечных разностей (МКР). Построение разностной схемы для решения краевой задачи содержащей дифференциальный оператор.
2	МКР. Интегро-интерполяционный метод на примере краевой задачи стационарной теплопроводности плоской однородной стенки.
3	МКР. Явная/неявная разностная схема. Построение разностной схемы для решения задачи нестационарной теплопроводности плоской однородной стенки.
4	МКЭ. Принципы построения сеток МКЭ. Аппроксимация двумерной области треугольной сеткой.
5	Решение плоской задачи теории упругости МКЭ с применением симплекс-элемента.
6	МКЭ. Решение осесимметричной задачи теории упругости методом конечных элементов.
7	Решение плоской задачи теории упругости МКЭ с использованием четырёхузлового изопараметрического конечного элемента.
8	Построение матрицы масс и матрицы жёсткости метода конечных элементов.
9	Численное отыскание собственных форм и частот колебаний.

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.

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, 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 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	Бате К.-Ю., Вилсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов : пер.с англ. М. : Стройиздат, 1982. 447 с.	2
2	Бояршинов М. Г. Методы вычислительной математики : учебное пособие. Пермь : Изд-во ПГТУ, 2008. 420 с.	88
3	Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация : пер. с англ. Москва : Мир, 1986. 318 с.	12
4	Самарский А. А. Теория разностных схем : учебное пособие для вузов. 2-е изд., испр. Москва : Наука, 1983. 616 с.	42
5	Самарский А. А. Теория разностных схем : учебное пособие для вузов. 3-е изд., испр. Москва : Наука, 1989. 616 с.	9
6	Сегерлинд Л. Д. Применение метода конечных элементов : пер. с англ. Москва : Мир, 1979. 392 с.	12

2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
1	Агапов В. П. Метод конечных элементов в статике, динамике и устойчивости пространственных тонкостенных подкреплённых конструкций : учебное пособие для вузов. Москва : Изд-во АСВ, 2000. 152 с.	7
2	Голованов А. И., Тюленева О. Н., Шигабутдинов А. Ф. Метод конечных элементов в статике и динамике тонкостенных конструкций. М. : Физматлит, 2006. 392 с.	3
3	Победря Б. Е. Численные методы в теории упругости и пластичности : учебное пособие для вузов. 2-е изд. Москва : Изд-во МГУ, 1995. 366 с.	12
4	Победря Б. Е. Численные методы в теории упругости и пластичности : учебное пособие для вузов. Москва : Изд-во МГУ, 1981. 343 с.	8
5	Суходоева А. А. Конечные элементы в строительной механике : учебное пособие. Москва : Изд-во ПГТУ, 2006. 99 с.	22
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	Бояршинов М. Г. Методы вычислительной математики : учебное пособие. Пермь : ПНИПУ, 2008. 421 с.	https://elib.pstu.ru/Record/lanRU-LAN-BOOK-160826	сеть Интернет; авторизованный доступ
Дополнительная литература	Суходоева А. А. Конечные элементы в строительной механике : учебное пособие. Москва : Изд-во ПГТУ, 2006.	https://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2556	сеть Интернет; авторизованный доступ

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Основная литература	Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы : пер. с англ. Москва : Мир, 1984.	https://elib.pstu.ru/Recordhttp://academic.portal.pstu.ru/Forms/RabochayaProgrammaDiscipliny/RabochayaProgrammaDisciplinyWebE.aspx?PK=%7bff98a533-b4ff-48bb-8bd7-844aea1214ec%7d&ReturnUrl=%2fForms%2fRabochayaProgrammaDiscipliny%2fRabochayaP/RUPNRPUelib2508	сеть Интернет; авторизованный доступ
Основная литература	Макаров Е. Г. Метод конечных элементов в прочностных расчетах : учебное пособие. Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2017. 136 с.	https://elib.pstu.ru/Record/lanRU-LAN-BOOK-121830	сеть Интернет; авторизованный доступ
Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов	Компьютерные технологии инженерного анализа : учеб. пособие / Александров А. А., Дульский Е. Ю., Лившиц А. В., Филиппенко Н. Г. Иркутск : ИрГУПС, 2018. 124 с.	https://elib.pstu.ru/Record/lanRU-LAN-BOOK-117575	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	MS Windows 7 (подп. Azure Dev Tools for Teaching до 27.03.2022)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATLAB 7.9 + Simulink 7.4 Academic, ПНИПУ 2009 г.

6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU)	https://elibrary.ru/

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	http://lib.pstu.ru/
Электронно-библиотечная система Лань	https://e.lanbook.com/
Электронно-библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru/
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	http://www.consultant.ru/

7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лабораторная работа	Персональный компьютер.	25
Лекция	Мультимедийное оборудование, ноутбук.	1

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»

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

(фонд оценочных средств)

для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине
«Вычислительная механика»

Приложение к рабочей программе дисциплины

Направление подготовки:	15.03.03 «Прикладная механика»
Направленность (профиль) образовательной программы:	Прикладная механика (общий профиль, СУОС)
Квалификация выпускника:	«Бакалавр»
Выпускающая кафедра:	Вычислительная математика, механика и биомеханика
Форма обучения:	Очная
Форма промежуточной аттестации:	Зачёт 6 семестр, экзамен 7 семестр

Оценочные материалы (фонд оценочных средств) для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение двух семестров (6-го и 7-го семестров учебного плана) и разбито на 3 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, зачёта и экзамена. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля					
	Текущий		Промежуточный / рубежный		Итоговый	
	С	ТО	ОЛР	Т/КР/ КИЗ	Зачёт	Экзамен
Усвоенные знания						
ИД-1ОПК-11. Знает проблемы и задачи прикладной механики	С1				ТВ	ТВ
ИД-1ОПК-13. Знает нормативы и требования подготовки технической документации	С2				ТВ	ТВ
ИД-1ПКО-3. Знает современные методы и средства, численные методы, алгоритмические языки, при проектировании машин, конструкций приборов и аппаратуры	С3				ТВ	ТВ
Освоенные умения						
ИД-2ОПК-11. Умеет решать задачи прочности, динамики, надежности с привлечением физико-математического аппарата			ОЛР1– ОЛР9	КИЗ1– КИЗ7		ПЗ
ИД-2ОПК-13. Умеет применять методы компьютерных технологий в профессиональной деятельности			ОЛР1– ОЛР9	КИЗ1– КИЗ7		ПЗ
ИД-2ПКО-3. Умеет решать задачи прочности, устойчивости, долговечности и надежности конструкций приборов и аппаратуры с применением современных программных комплексов			ОЛР1– ОЛР9	КИЗ1– КИЗ7		ПЗ
Приобретенные владения						
ИД-3ОПК-11. Владеет навыками применения компьютерных технологий для решения задач прикладной механики			ОЛР1– ОЛР9	КИЗ1– КИЗ7		ПЗ
ИД-3ОПК-13. Владеет навыками использования			ОЛР1–	КИЗ1–		ПЗ

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля					
	Текущий		Промежуточный / рубежный		Итоговый	
	С	ТО	ОЛР	Т/КР/ КИЗ	Зачёт	Экзамен
методов информационных технологий для подготовки конструкторско-технологической документации, с соблюдением основных требований информационной безопасности			ОЛР9	КИЗ7		
ИД-3ПКО-3. Владеет навыками применения современных программных комплексов к решению проблем прикладной механики			ОЛР1– ОЛР9	КИЗ1– КИЗ7		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; КИЗ – комплексное индивидуальное задание на самостоятельную работу; КЗ – комплексное задание экзамена.

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде зачёта и экзамена, проводимая с учетом результатов текущего, промежуточного 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 5-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

2.2. Промежуточный и рубежный контроль

Промежуточный и рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме защиты лабораторных (практических) 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

Не предусмотрено

2.2.3. Выполнение комплексного индивидуального задания на самостоятельную работу

Согласно РПД запланировано 7 рубежные комплексных индивидуальных заданий (КИЗ) после освоения студентами учебных модулей дисциплины. Первые три КИЗ по модулю 1 «Основы метода конечных разностей (МКР)», КИЗ 4–6 – по модулю 2 «Метод конечных элементов (МКЭ) в задачах статики», последняя КИЗ 7 по модулю 3 «МКЭ в задачах динамики».

Типовые задания КИЗ:

КИЗ 1: Решить задачу о растяжении неоднородного стержня переменными массовыми нагрузками методом конечных разностей прямой подстановкой.

КИЗ 2: Решить задачу о растяжении неоднородного стержня переменными массовыми нагрузками интегро-интерполяционным методом конечных разностей.

КИЗ 3: Решить задачу нестационарной теплопроводности стержня с теплоизолированной боковой поверхностью методом конечных разностей (явная/неявная и общая схема).

КИЗ 4: Решить плоскую задачу теории упругости методом конечных элементов с использованием симплекс-элемента.

КИЗ 5: Решить осесимметричную задачу теории упругости методом конечных элементов с использованием симплекс-элемента.

КИЗ 6: Решить плоскую задачу теории упругости методом конечных элементов с использованием билинейных четырёх узловых конечных элементов.

КИЗ 7: Решить задачу динамики плоского упругого тела – определить собственные формы и частоты колебаний, построить АЧХ для вынужденных колебаний.

Примеры типовых КИЗ представлены в **Приложении**.

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

2.3. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)

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

Промежуточная аттестация, согласно РПД, проводится в виде зачёта по дисциплине (устно) и экзамена по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки освоенных умений и контроля уровня приобретенных владений всех заявленных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности *всех* заявленных компетенций. Форма билета представлена в общей части ФОС образовательной программы.

2.3.1. Типовые вопросы и задания для зачёта и экзамена по дисциплине

Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:

1. Классификация конечных элементов.
2. Понятие разностной схемы. Устойчивость и сходимость разностных схем. Требования, предъявляемые к разностным схемам.
3. Метод конечных элементов. Основные понятия метода конечных элементов.
4. Метод конечных разностей. Основные понятия. Сетки и сеточные функции.
5. Осесимметричный конечный элемент.

Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений и уровня приобретенных владений:

1. Заданы матрицы масс, жёсткости и два собственных вектора. Записать выражение для перемещений $v(t)$, используя метод разложения по собственным формам. Начальные условия считать тривиальными, а вынуждающую нагрузку постоянной: $P = \begin{pmatrix} 1 & 2 \end{pmatrix}$.

$$x_1 = \begin{pmatrix} -1 & 0,5 \end{pmatrix}, \quad x_2 = \begin{pmatrix} 0,5 & 1 \end{pmatrix}, \quad M = \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix}, \quad K = \begin{pmatrix} 1 & -2 \\ -2 & 20 \end{pmatrix}.$$

2. Вывести 7 функций формы для треугольного конечного элемента с кубической Лагранжевой аппроксимацией.
3. Построить конечно-разностную схему для задачи:

$$\begin{cases} EI \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} - \rho F p^2 w = 0, & x \in [0; l] \\ w(0) = 0, & w(l) = 0, \\ \frac{\partial w}{\partial x}(0) = 0, & \frac{\partial w}{\partial x}(l) = 0. \end{cases}$$

Полный перечень теоретических вопросов и практических заданий в форме

утвержденного комплекта экзаменационных билетов хранится на выпускающей кафедре.

2.3.2. Шкалы оценивания результатов обучения на экзамене

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 5-ти балльной шкале оценивания путем выборочного контроля во время экзамена.

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

3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов и компетенций

3.1. Оценка уровня сформированности компонентов компетенций

При оценке уровня сформированности компетенций в рамках выборочного контроля при экзамене считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Типовые критерии и шкалы оценивания уровня сформированности компонентов компетенций приведены в общей части ФОС образовательной программы.

3.2. Оценка уровня сформированности компетенций

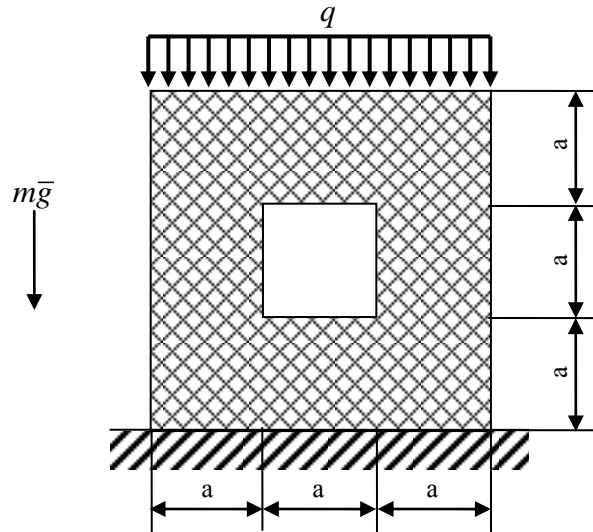
Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего, промежуточного и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 5-ти балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде экзамена используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.

Типовые комплексные индивидуальные задания**Задание 1**

Решить плоскую задачу теории упругости, заданную на схеме ниже, методом конечных элементов с применением четырёхузлового изопараметрического конечного элемента.



Кроме распределённой нагрузки q на тело действует сила тяжести и начальное деформированное состояние вследствие разницы температуры тела и окружающей среды равной ΔT .

Задание 2

Решить задачу нестационарной теплопроводности для стержня с теплоизолированной боковой поверхностью используя явную/неявную конечно-разностную схему. Реализацию получить для общего случая значения весового коэффициента σ .

$$\begin{cases} \frac{\partial U}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + f(t, x), & x \in [0; l], t \in [0; T], \\ U(0, x) = U_0(x), \\ U(t, 0) = U_1(t), \\ U(t, l) = U_2(t). \end{cases}$$