

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе


_____ Н.В.Лобов

« 25 » февраля 20 22 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: _____ Численные методы в строительной механике машин
(наименование)

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

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

Общая трудоёмкость: _____ 288 (8)
(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 у студентов теоретических и практических знаний в области расчетов элементов инженерных конструкций на прочность, жесткость, устойчивость; приобретение практических навыков расчета стержней, пластин и оболочек на прочность; освоение численных методов решения задач строительной механики

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

– стержни, пластины, оболочки, конструкционные материалы, машины, конструкции и элементы конструкций, другие объекты современной техники, которые для своего изучения и решения требуют применения численных методик, основанных на теории строительной механики машин;
– аналитические и приближенные методы определения прочностных характеристик механических систем в виде стержней, пластин и оболочек.

1.3. Входные требования

Не предусмотрены

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-2.2	ИД-1ПК-2.2	Знает основные методики проведения численных расчетов элементов строительной механики машин; методы обработки и анализа научных результатов.	Знает современные и эффективные численные методы, алгоритмические языки, пакеты прикладных программ, средства представления результатов для проведения инженерных расчетов и исследовательских работ в прикладной механике	Собеседование

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-2.2	ИД-2ПК-2.2	Умеет применять методы вычислительной механики и компьютерного инжиниринга для решения задач строительной механики машин	Умеет создавать и использовать компьютерные модели материалов и конструкций для проведения инженерных расчетов в различных областях техники с использованием современных эффективных методов и средств, в том числе численных методов, алгоритмических языков, пакетов прикладных программ, средств представления результатов, выполнять анализ результатов расчета	Защита лабораторной работы
ПК-2.2	ИД-3ПК-2.2	Владеет навыками обработки, анализа и верификации численных результатов научно-исследовательских работ в области строительной механики машин.	Владеет навыками верификации компьютерных моделей на основе экспериментальных данных при решении задач прикладной механики	Защита лабораторной работы

3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		7	8
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	106	72	34
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	44	34	10
- лабораторные работы (ЛР)	56	36	20
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)			
- контроль самостоятельной работы (КСР)	6	2	4
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	146	108	38
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36	36	
Дифференцированный зачет			
Зачет	9		9
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)	18	18	
Общая трудоемкость дисциплины	288	216	72

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
7-й семестр				
Численные методы решения задач строительной механики	10	10	0	26
<p>Тема 1. Применение метода конечных разностей для решения задач строительной механики стержней. Балка переменной толщины на упругом основании с различными условиями закрепления. Конечно-разностная дискретизация уравнений равновесия и граничных условий. Формирование СЛАУ. Проверка корректности численного решения.</p> <p>Тема 2. Применение метода конечных разностей для решения задачи изгиба пластины. Математическая постановка задачи об изгибе прямоугольной пластины с различными условиями закрепления. Конечно-разностная дискретизация уравнений равновесия и граничных условий. Формирование СЛАУ. Проверка корректности численного решения.</p> <p>Тема 3. Векторно-матричная форма системы линейных дифференциальных уравнений. Векторно-матричная форма системы линейных дифференциальных уравнений: уравнение изгиба балки переменной толщины на упругом основании, уравнение осесимметричного изгиба круглой пластинки переменной толщины.</p> <p>Тема 4. Метод начальных параметров. Применение метода начальных параметров для решения задачи об изгибе балки переменного сечения на упругом основании. Варианты учета силовых и кинематических граничных условий. Способы численного решения СЛАУ. Проверка корректности численного решения.</p> <p>Тема 5. Метод ортогонализации Годунова. Векторно-матричная форма системы линейных дифференциальных уравнений. Применение метода ортогонализации Годунова для решения задачи об изгибе балки на упругом основании. Алгоритм ортогонализации.</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Метод конечных элементов в строительной механике стержней	8	12	0	42
Тема 6. Ферменный двухузловой конечный элемент. Ферменный двухузловой конечный элемент. Определяющие соотношения: связь между перемещениями в глобальной и локальной системах координат связь между матрицами сил; построение матрицы жесткости ферменного элемента. Формирование глобальной матрицы жесткости и вектора узловых сил. Учет кинематических граничных условий. Определение НДС ферменного элемента. Тема 7. Балочный двухузловой конечный элемент. Балочный двухузловой конечный элемент. Определяющие соотношения. Блочный вид матрицы жесткости элемента в локальной системе координат. Переход в глобальную систему координат. Учет узловых и внеузловых нагрузок. Учет кинематических граничных условий. Построение поля перемещений конструкции с учетом функций формы конечных элементов.				
Метод конечных элементов в строительной механике пластин	10	14	0	28
Тема 8. Четырехугольный изопараметрический совместный элемент пластины. Четырехугольный изопараметрический совместный элемент пластины. Локальная система координат и функции формы конечного элемента. Определяющие соотношения: матричная запись геометрических и физических соотношений теории изгиба пластин. Формирование матрицы жесткости конечного элемента, квадратурные формулы Гаусса. Учет внеузловой нагрузки и условий закрепления. Тема 9. Несовместный прямоугольный элемент пластины. Несовместный прямоугольный элемент пластины. Функции формы конечного элемента. Определяющие соотношения. Типовой блок матрицы жесткости элемента. Учет внеузловой нагрузки. Тема 10. Конечные элементы пластин высокого порядка. Конечные элементы пластин второго и третьего порядка.				
Дополнительные разделы строительной механики пластин	6	0	0	12
Тема 11. Обзор треугольных конечных элементов пластин. Тема 12. Многослойные пластины.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
ИТОГО по 7-му семестру	34	36	0	108
8-й семестр				
Метод конечных элементов в строительной механике оболочек	10	20	0	38
Тема 13. Оболочки как совокупность плоских элементов. Оболочки как совокупность плоских элементов. Аппроксимация поверхности плоскими элементами. Общие подходы. Жесткость плоского элемента в локальных координатах. Переход к глобальным координатам и составление ансамбля элементов. Матрицы направляющих косинусов: для прямоугольных элементов, произвольно ориентированных в пространстве треугольных элементов. Примеры возможных реализаций. Тема 14. Осесимметричная оболочка вращения под действием осесимметричной нагрузки. Осесимметричная оболочка вращения под действием осесимметричной нагрузки. Системы координат. Узловые неизвестные. Матричный вид определяющих соотношений. Функции формы конечного элемента. Типовые блоки матрицы жесткости элемента/ Тема 15. Осесимметричная оболочка вращения под действием несимметричной нагрузки. Осесимметричная оболочка вращения под действием несимметричной нагрузки. Применение подходов полуаналитического метода конечных элементов к анализу оболочки. Процедура построения матрицы жесткости конечного элемента. Границы применимости подхода. Тема 16. Конечные элементы произвольной оболочки. Конечные элементы произвольной оболочки				
ИТОГО по 8-му семестру	10	20	0	38
ИТОГО по дисциплине	44	56	0	146

Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Метод конечных разностей в теории балок и пластин. Изгиб балки переменного сечения на упругом основании
2	Применение метода начальных параметров для решения задачи об изгибе балки переменного сечения на упругом основании
3	Метод конечных элементов в строительной механике. Расчет ферменных конструкций
4	Применение метода конечных элементов для расчета балок и рамных конструкций

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
5	Метод конечных элементов в строительной механике. Расчет пластин
6	Применение метода конечных элементов для анализа строительных конструкций в виде комбинации стержней, балок и пластин. Методы стыковки конечных элементов различных типов
7	Оболочки как совокупность плоских элементов
8	Осесимметричная оболочка вращения под действием различных нагрузок
9	Методы расчета пластин и оболочек в программном комплексе компьютерного анализа ANSYS

Тематика примерных курсовых проектов/работ

№ п.п.	Наименование темы курсовых проектов/работ
1	Динамические задачи строительной механики
2	Численное решение нелинейных задач строительной механики
3	Применение четырехугольных конечных элементов пластин высокого порядка к расчету строительных конструкций
4	Применение треугольных пластинчатых элементов высокого порядка к расчету строительных конструкций
5	Численный расчет пространственной оболочечной конструкции с ребрами жесткости
6	Анализ возможностей инженерного пакета ANSYS для решения задач строительной механики пластин и оболочек

5. Организационно-педагогические условия

5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором обучающиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности обучающихся на достижение целей занятия.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
1. Основная литература		
1	Дарков А. В., Шапошников Н. Н. Строительная механика : учебник для вузов. 12-е изд., стер. Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2014. 655 с. 41,00 усл. печ. л.	6
2	Саргсян А. Е. Строительная механика : учебник для вузов. 2-е изд., стер. М. : Высш. шк., 2008. 462 с.	3
3	Саргсян А. Е. Строительная механика. Механика инженерных конструкций : учебник для вузов. Москва : Высш. шк., 2004. 462 с.	65
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
1	Бидерман В. Л. Механика тонкостенных конструкций. Статика. Москва : Машиностроение, 1977. 488 с.	7
2	Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация : пер. с англ. Москва : Мир, 1986. 318 с.	12
3	Строительная механика машин. Механика стержней. Динамика. Москва : Физматлит, 2009. 383 с. 24 усл. печ. л.	12
4	Строительная механика машин. Механика стержней. Статика. Москва : Физматлит, 2009. 408 с. 25,5 усл. печ. л.	11
5	Тимошенко С. П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки : пер. с англ. 2-е изд., стер. Москва : Наука : Физматлит, 1966. 635 с.	30
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	Конечные элементы и аппроксимация : пер. с англ. / О. Зенкевич, К. Морган ; Под ред. Н.С. Бахвалова . – Москва : Мир, 1986 . – 318 с	https://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2492	сеть Интернет; авторизованный доступ

6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATLAB 7.9 + Simulink 7.4 Academic, ПНИПУ 2009 г.
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	ANSYS (лиц. 1062978)

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

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
Курсовая работа	Компьютеры	20
Лабораторная работа	Компьютеры	20

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лабораторная работа	Мультимедиа-проектор с компьютером	1
Лекция	Мультимедиа-проектор с компьютером	1

8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе