

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
от 30.11.2022 г. протокол № 13

**Рабочая программа дисциплины
Численные методы решения задач динамики**

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

магистратура

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

01.04.03 Механика и математическое моделирование

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Информационное и программное обеспечение. Инженерия

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород

2023 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений.

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
2	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина <i>Б1.В.ДВ.02.01. Численные методы решения задач динамики</i> относится к части ООП направления подготовки 01.04.03 Механика и математическое моделирование, формируемой участниками образовательных отношений.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции* (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине**	
ПК-6 Владение навыками самостоятельного анализа поставленной задачи, выбора корректного метода ее решения, построения алгоритма и его реализации	ПК-6.1. Умеет самостоятельно анализировать задачу, выбирать методы решения, создавать алгоритм решения и реализовывать его.	Уметь самостоятельно анализировать задачу, выбирать методы решения, создавать алгоритм решения и реализовывать его в задачах динамики.	Собеседование
	ПК-6.2. Владеет навыками решения практических задач, анализа результатов решения.	Владеть навыками решения практических задач в области численных методов решения задач динамики, а также анализом результатов решения.	Сообщение
ПК-9. Умение использовать физические и компьютерные модели объектов и явлений реального мира, сред, тел и конструкций, а также современное экспериментальное оборудование	ПК-9.1. Знает теоретические основы физического и компьютерного моделирования, основы эксперимента в механике.	Знать теоретические основы физического и компьютерного моделирования, основы эксперимента в механике для решения задач динамики	Собеседование
	ПК-9.2. Умеет использовать физические и компьютерные модели объектов и явлений реального мира, сред, тел и конструкций, а также современное экспериментальное оборудование для решения задач механики на основе полученных теоретических знаний.	Уметь использовать физические и компьютерные модели объектов и явлений реального мира, сред, тел и конструкций, а также современное экспериментальное оборудование для решения задач динамики на основе полученных теоретических знаний.	Сообщение

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции* (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине**	
	ПК-9.3. Имеет практический опыт использования физических и компьютерных моделей и экспериментального оборудования при решении стандартных задач механики	Владеть опытом использования физических и компьютерных моделей и экспериментального оборудования при решении стандартных задач механики жидкостей и газов.	Сообщение

*Индикатор достижения компетенции – указывается из таблиц п.4.1. Общей характеристики ООП,

**Результаты обучения по дисциплине- указываются авторами РПД согласно содержания дисциплины

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	4 ЗЕТ
Часов по учебному плану	144
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа	16
- занятия лабораторного типа	2
- текущий контроль (КСР)	
самостоятельная работа	74
Промежуточная аттестация – экзамен	36

3.2. Содержание дисциплины

Очная форма обучения							
№	Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				СР ¹ , часы
			Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				
			из них				
			З.ЛеТ ²	З.СеТ ³	З.ЛаТ ⁴	Всего	
1.	Основные понятия. Виды динамических воздействий. Общее уравнение движения. Его формы для различных типов динамических анализов. Способы решения общего уравнения движения.	8	2			2	6
2.	Метод прямого интегрирования Ньюмарка. Метод Гильбера-Хьюза-Тейлора.	8			2	2	6
3.	Модальный анализ. Кратные частоты собственных колебаний. Производные по направлению для кратных частот. Модальный анализ предварительно напряженных конструкций.	8	2			2	6
4.	Гармонический анализ. Полный метод. Усеченный метод. Метод суперпозиции	8			2	2	6

Очная форма обучения							
№	Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				СР ¹ , часы
			Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				
			из них				
			З.ЛеТ ²	З.СеТ ³	З.ЛаТ ⁴	Всего	
	мод. Нахождение решения задачи гармонического анализа в виде набора амплитуд и фазовых углов, в виде реальной и мнимой частей решения. Три типа демпфирования. Матрица демпфирования.						
5.	Анализ переходных процессов. Расчет систем с одной степенью свободы при действии произвольной нагрузки. Интеграл Дюамеля. Динамический анализ переходных процессов полным методом, редуцированным методом, методом суперпозиции мод.	8	2			2	6
6.	Ударные спектры для максимального отклика от действия прямоугольного, треугольного, полусинусоидального импульсов для линейной системы.	8			2	2	6
7.	Максимальные отклики системы с n степенями свободы от действия прямоугольного, треугольного, полусинусоидального импульсов спектральным методом.	8	2			2	6
8.	Численное моделирование динамического контакта деформируемых тел в Ansys.	8			2	2	6
9.	Разработка алгоритмов и программных модулей для численного решения нелинейных задач динамики конструкций	8	2			2	6
10.	Решение модельных задач динамики конструкций на основе программы LS-DYNA	34	6		8	14	20
	Текущий контроль (КСР)	2				2	
	Промежуточная аттестация	36					
	ИТОГО	144	16		16	34	74
¹ Самостоятельная работа обучающегося. ² Занятия лекционного типа. ³ Занятия семинарского типа. ⁴ Занятия лабораторного типа.							

Практические занятия (лабораторные занятия) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий (лабораторных занятий) в форме практической подготовки отводится 16 часов.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП: разработки, анализа и внедрения эффективных алгоритмов и специализированных программных комплексов; использования физических и компьютерных моделей и экспериментального оборудования при решении стандартных задач механики жидкостей и газов.
- компетенций - ПК-6; ПК-9.

Текущий контроль успеваемости проходит в рамках занятий практического типа, групповых или индивидуальных консультаций.

Промежуточная аттестация проходит в традиционных формах (экзамен).

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающегося включает в себя расчетно-графические работы, домашние задания.

Примеры общих теоретических вопросов и заданий для собеседований приведены в п. 5.2

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

Фонд оценочных средств включает: контрольные материалы для проведения текущего контроля в форме контрольных вопросов теоретического характера, контрольных вопросов к описанию лабораторных работ и контрольных заданий для собеседования.

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Шкала оценивания сформированности компетенций		Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)		
		<u>Знания</u>	<u>Умения</u>	<u>Навыки</u>
плохо	не зачтено	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа
неудовлетворительно		Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
удовлетворительно	зачтено	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами
хорошо		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
очень хорошо		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько незначительных ошибок	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
отлично		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными незначительными	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.

Шкала оценивания сформированности компетенций	Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)		
	Знания	Умения	Навыки
		недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
незачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

5.2.1. Контрольные вопросы (ПК-9)

1. В каких задачах требуется проводить динамический анализ.
2. Виды динамических воздействий.
3. Общее уравнение движения. Его формы для различных типов динамических анализов.
4. Способы решения общего уравнения движения.
5. Метод суперпозиции собственных форм.
6. Метод прямого интегрирования (метод Ньюмарка, метод Гильбера-Хьюза-Тейлора).
7. Модальный анализ. Последовательность действий при проведении модального анализа в ANSYS.
8. Кратные частоты собственных колебаний. Производные по направлению для кратных частот.

9. Модальный анализ предварительно напряженных конструкций.
10. Гармонический анализ. Полный метод. Усеченный метод. Метод суперпозиции мод.
11. Нахождение решения задачи гармонического анализа в виде набора амплитуд и фазовых углов.
12. Нахождение решения задачи гармонического анализа в виде реальной и мнимой частей решения.
13. Матрица коэффициентов динамического усиления внешней нагрузки.
14. Три типа демпфирования. Матрица демпфирования.
15. Последовательность действий при проведении гармонического анализа в ANSYS.
16. Анализ переходных процессов. Три метода решения.
17. Расчет систем с одной степенью свободы при действии произвольной нагрузки. Интеграл Дюамеля.
18. Динамический анализ переходных процессов полным методом.
19. Динамический анализ переходных процессов редуцированным методом.
20. Динамический анализ переходных процессов методом суперпозиции мод.
21. Последовательность действий при проведении анализа переходных процессов в ANSYS.
22. Ударные спектры для максимального отклика от действия прямоугольного, треугольного, полусинусоидального импульсов для линейной системы.
23. Максимальные отклики системы с n степенями свободы от действия прямоугольного, треугольного, полусинусоидального импульсов спектральным методом.
24. Спектральный анализ в ANSYS.
25. Решение задач механики контактного взаимодействия в ANSYS.
26. Проведение расчетов быстротекущих процессов в модуле ANSYS/LS-DYNA.

5.2.2. Контрольные задания для оценки формирования компетенций ПК-6

№	Варианты заданий РГР. Темы расчетно-графических работ (РГР).
1.	Модальный анализ консольной балки. Анализ предварительно напряженной консольной балки.
2.	Модальный анализ жестко закрепленной цилиндрической оболочки. Анализ предварительно напряженной жестко закрепленной цилиндрической оболочки.
3.	Оптимальное проектирование стержневых систем с учетом ограничений по прочности и кратным частотам собственных колебаний.
4.	Гармонический анализ консольной балки. Полный метод. Определение полей перемещений, напряжений на первой резонансной частоте. Решите данную задачу, если постоянное демпфирование равно 5%, 10%. Сравните результаты.
5.	Гармонический анализ пластины. Разложение по модам. Определение полей перемещений, напряжений на первой резонансной частоте. Решите данную задачу, если постоянное демпфирование равно 5%, 10%. Сравните результаты.
6.	Работа гасителя поперечных колебаний шарнирно опертой балки.
7.	Определить отклик системы, состоящей из трех масс и четырех пружин, на гармоническую силу, приложенную к одной из масс. Решите данную задачу, если постоянное демпфирование равно 0%, 4%. Сравните результаты, полученные в ANSYS и MATHEMATICA.

7.	Определить отклик системы с одной степенью свободы на импульсно ступенчато приложенную нагрузку с учетом и без демпфирования. Сравнить результаты, полученные в ANSYS и MATHEMATICA.
8.	Определить отклик системы с одной степенью свободы на импульсно треугольно приложенную нагрузку с учетом и без демпфирования. Сравнить результаты, полученные в ANSYS и MATHEMATICA.
9.	Определить отклик системы с одной степенью свободы на двухступенчатую импульсно приложенную нагрузку с учетом и без демпфирования. Сравнить результаты, полученные в ANSYS и MATHEMATICA.
10.	Определить отклик системы с одной степенью свободы на полусинусоидально импульсно приложенную Нагрузку с учетом и без демпфирования. Сравнить результаты, полученные в ANSYS и MATHEMATICA.
11.	Провести анализ переходных процессов (транзиентный анализ) консольной балки на импульсно ступенчато приложенную нагрузку с учетом и без демпфирования.
12.	Получить ударный спектр для максимального отклика от действия полусинусоидального импульса для линейной системы с одной степенью свободы как функции отношения длительности импульса к периоду собственных колебаний. Рассмотреть влияние демпфирования на отклики и ударные спектры.
13.	Определение максимального отклика системы с n степенями свободы от действия полусинусоидального импульса спектральным методом.
14.	Получить ударный спектр для максимального отклика от действия прямоугольного импульса для линейной системы с одной степенью свободы как функции отношения длительности импульса к периоду собственных колебаний. Рассмотреть влияние демпфирования на отклики и ударные спектры.
15.	Определение максимального отклика системы с n степенями свободы от действия прямоугольного импульса спектральным методом.
16.	Провести спектральный анализ для плоской рамы в ANSYS. Выполнить сравнительный анализ максимальных значений выбранных компонент вектора узловых перемещений, полученных с использованием метода квадратного корня SRSS из суммы квадратов Δ_{ji} вручную и с помощью Ansys.
17.	Провести спектральный анализ для пространственной фермы в ANSYS. Выполнить сравнительный анализ максимальных значений выбранных компонент вектора узловых перемещений, полученных с использованием метода квадратного корня SRSS из суммы квадратов Δ_{ji} вручную и с помощью Ansys.
18.	Моделирование контактной задачи на примере плоского недеформируемого штампа в изотропную линейно упругую полуплоскость с помощью ANSYS.
19.	Моделирование контактной задачи на примере цилиндрического недеформируемого штампа в изотропную линейно упругую полуплоскость с помощью ANSYS.
20.	Моделирование штамповки профиля эластичным инструментом в ANSYS.
21.	Исследование соударения полого шара с недеформируемой преградой в ANSYS.
22.	Исследование падения контейнера в ANSYS.
23.	Проведение расчетов быстротекущих процессов в модуле ANSYS/LS-DYNA на примере падения блока на длинную балку.

Примерные темы научно-исследовательских работ.

Определение максимального отклика конструкции на импульсную нагрузку спектральным методом.

Конечно-элементное моделирование деформирования сферического купола при падении на него плиты перекрытия.

Оптимальное проектирование стержневых систем с учетом ограничений на усталостную долговечность, размеры поперечных сечений и координаты узлов.

5.2.3. Контрольные вопросы для оценки формирования компетенций ПК-6, ПК-9

1. В каких задачах требуется проводить динамический анализ.
2. Виды динамических воздействий.
3. Общее уравнение движения. Его формы для различных типов динамических анализов.
4. Способы решения общего уравнения движения.
5. Метод суперпозиции собственных форм.
6. Метод прямого интегрирования (метод Ньюмарка, метод Гильбера-Хьюза-Тейлора).
7. Модальный анализ. Последовательность действий при проведении модального анализа в ANSYS.
8. Кратные частоты собственных колебаний. Производные по направлению для кратных частот.
9. Модальный анализ предварительно напряженных конструкций.
10. Гармонический анализ. Полный метод. Усеченный метод. Метод суперпозиции мод.
11. Нахождение решения задачи гармонического анализа в виде набора амплитуд и фазовых углов.
12. Нахождение решения задачи гармонического анализа в виде реальной и мнимой частей решения.
13. Матрица коэффициентов динамического усиления внешней нагрузки.
14. Три типа демпфирования. Матрица демпфирования.
15. Последовательность действий при проведении гармонического анализа в ANSYS.
16. Анализ переходных процессов. Три метода решения.

17. Расчет систем с одной степенью свободы при действии произвольной нагрузки. Интеграл Дюамеля.
18. Динамический анализ переходных процессов полным методом.
19. Динамический анализ переходных процессов редуцированным методом.
20. Динамический анализ переходных процессов методом суперпозиции мод.
21. Последовательность действий при проведении анализа переходных процессов в ANSYS.
22. Ударные спектры для максимального отклика от действия прямоугольного, треугольного, полусинусоидального импульса для линейной системы.
23. Максимальные отклики системы с n степенями свободы от действия прямоугольного, треугольного, полусинусоидального импульсов спектральным методом.
24. Спектральный анализ в ANSYS.
25. Решение задач механики контактного взаимодействия в ANSYS.
26. Проведение расчетов быстротекущих процессов в модуле ANSYS/LS-DYNA.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Баженов В.Г., Чекмарев Д.Т. Решение задач нестационарной динамики пластин и оболочек вариационно-разностным методом: Учебное пособие. Н.Новгород: Изд-во ННГУ, 2000. (16 экз.)
2. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975 г., 544 с. (4 экз.)
3. Голованов А.И., Тюленева О.Н., Шигабутдинов А.Ф. Метод конечных элементов в статике и динамике тонкостенных конструкций. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 392с. (4 экз.)

б) дополнительная литература:

1. Абросимов Н.А., Баженов В.Г. Нелинейные задачи динамики композитных конструкций. Н.Новгород: Изд-во ННГУ, 2002 (4 экз.)
2. Коробейников С.Н. Нелинейное деформирование твердых тел. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2000. – 262с. (2 экз.) <http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=47868&idb=0>
3. Абросимов Николай Анатольевич. Нелинейные задачи динамики композитных конструкций : монография / ННГУ . - Н. Новгород : Изд-во ННГУ , 2002. - 400 с. <http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=57764&idb=0>
4. Роуч П. Вычислительная гидромеханика. М.: Мир, 1980. - 616 (1 экз.) <http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=74896&idb=0>

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

(в соответствии с содержанием дисциплины)

1. Программный комплекс компьютерного моделирования процессов динамического деформирования сложных конструктивных элементов в трехмерной постановках

«Динамика-3» (сертификат соответствия №РОСС RU.ME20.HOO338 Госстандарта России)

2. Сертифицированный программный комплекс ANSYS, приобретенный ННГУ им. Н.И. Лобачевского в рамках национального проекта "Образование"
3. Информационно-аналитические материалы
<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics.htm>
<http://www.dynasupport.com/manuals>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебные аудитории для проведения лекционных и семинарских занятий, оснащенные мультимедийными средствами.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению 01.04.03 Механика и математическое моделирование.

Автор к.т.н., доцент Сергеев О.А.

Заведующий кафедрой ТКиЭМ д.ф.-м.н., профессор Игумнов Л.А.

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики

от 30.11.2022 года, протокол № 3.