

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 2023 г. протокол № __

Рабочая программа дисциплины

**Численное моделирование поведения пороупругих тел и
сред**

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

бакалавриат

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

09.03.03 Прикладная информатика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Суперкомпьютерное моделирование и инженерный анализ

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

бакалавр

(бакалавр / магистр / специалист)

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.04.01.</i> Численное моделирование поведения пороупругих тел и сред относится к части ООП направления подготовки 09.03.03 Прикладная информатика, формируемой участниками образовательных отношений, дисциплина по выбору.

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**	
<p>ПК-15.</p> <p>Способен самостоятельно анализировать поставленную задачу, выбирать корректные методы её решения, применять математически сложные алгоритмы в современных специализированных программных комплексах суперкомпьютерного моделирования инженерного назначения, реализовывать в них новые алгоритмы</p>	<p>ПК-15.1. Демонстрирует знание теоретических основ и методологию построения решений фундаментальных задач механики, основы информационных технологий, в том числе суперкомпьютерных технологий.</p> <p>ПК-15.2. Демонстрирует умение самостоятельно осуществлять анализ и выбор методов и алгоритмов решения задач профессиональной деятельности.</p> <p>ПК-15.3. Имеет опыт решения задач механики в соответствии с выбранным методом и построенным алгоритмом с использованием современных программных комплексов суперкомпьютерного моделирования инженерного назначения.</p>	<p>Знать: теоретические основы и методы построения решений основных задач механики и основ информационных технологий, включая суперкомпьютерные технологии.</p> <p>Уметь самостоятельно анализировать и выбирать методы и алгоритмы решения профессиональных задач.</p> <p>Владеть методами решения задач механики для инженерных целей с использованием современных программ суперкомпьютерного моделирования в соответствии с выбранными методами и построенными алгоритмами.</p>	<p>Контрольные вопросы Задания Собеседование</p>
<p>ПК-16.</p> <p>Имеет опыт самостоятельного проведения работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов суперкомпьютерного моделирования инженерных задач</p>	<p>ПК-16.1. Демонстрирует знание особенностей поиска научно-технической информации в различных источниках, методов и технологий её обработки и анализа, а также способов представления.</p> <p>ПК-16.2. Демонстрирует умение самостоятельно</p>	<p>Знать: особенности поиска научно-технической информации из различных источников, методов и приемов ее обработки и анализа, а также методов представления.</p> <p>Уметь самостоятельно организовывать поиск информации из различных</p>	<p>Контрольные вопросы Задания Собеседование</p>

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**	
	<p>организовать целенаправленный поиск информации в различных источниках, выбирать методы и технологии её обработки, анализа и представления, исходя из поставленной задачи на основе программных комплексов суперкомпьютерного моделирования инженерного назначения.</p> <p>ПК-16.3. Имеет опыт поиска и анализа научно-технической информации в различных источниках для решения стандартных профессиональных задач, а также опыт публичного представления научных результатов.</p>	<p>источников, обрабатывать, анализировать и выбирать методы и приемы представления, исходя из поставленных задач, на базе программ суперкомпьютерного моделирования для технических целей.</p> <p>Иметь практический опыт поиска, подбора и анализа научно-технической информации из различных источников для решения поставленных задач и представления полученных результатов.</p>	

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

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

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	33
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа	16
- занятия лабораторного типа	1
- текущий контроль (КСР)	
самостоятельная работа	75
Промежуточная аттестация – зачет	

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.ЛеГ ²	З.СеГ ³	З.ЛаГ ⁴	Всего	
1.	Основные понятия. Виды динамических воздействий. Общее уравнение движения. Его формы для различных типов динамических анализов. Способы решения общего уравнения движения.	7	2			2	5

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				
ЗЛет ²	ЗСеТ ³	ЗЛаТ ⁴	Всего				
2.	Метод прямого интегрирования Ньюмарка. Метод Гильбера-Хьюза-Тейлора.	7		2		2	5
3.	Модальный анализ. Кратные частоты собственных колебаний. Производные по направлению для кратных частот. Модальный анализ предварительно напряженных конструкций.	9	2	2		4	5
4.	Гармонический анализ. Полный метод. Усеченный метод. Метод суперпозиции 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.	7	2			2	5
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.	9	2	2		4	5
6.	Ударные спектры для максимального отклика от действия прямоугольного, треугольного, полусинусоидального импульсов для линейной системы.	7	2			2	5
7.	Максимальные отклики системы с n степенями свободы от действия прямоугольного, треугольного, полусинусоидального импульсов спектральным методом.	14	2	2		4	10
8.	Численное моделирование динамического контакта деформируемых тел в ЛОГОС.	12		2		2	10
9.	Разработка алгоритмов и программных модулей для численного решения нелинейных задач динамики конструкций	14	2	2		4	10
10.	Решение модельных задач динамики конструкций на основе программы ЛОГОС	21	2	4		6	15
	Текущий контроль (КСР)	1				1	
	Промежуточная аттестация- зачет						
	ИТОГО	108	16	16		33	75

¹ Самостоятельная работа обучающегося.

² Занятия лекционного типа.

³ Занятия семинарского типа.

⁴ Занятия лабораторного типа.

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

Промежуточная аттестация проходит в традиционных формах (зачет).

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)			
	Знания	Умения	Навыки	
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
		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.	Продемонстрированы 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
		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
хорошо	зачтено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
очень хорошо	зачтено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Продемонстрированы все основные умения.	Продемонстрирован творческий подход к
отлично	зачтено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Продемонстрированы все основные умения.	
превосходно	зачтено	Уровень знаний в объеме, превышающем	Продемонстрированы все основные умения.	

Шкала оценивания сформированности компетенций	Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)		
	<u>Знания</u>	<u>Умения</u>	<u>Навыки</u>
	программу подготовки.	Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов	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 для формирования компетенций

Вопрос	<i>Код ФОРМИРУЕМОЙ КОМПЕТЕНЦИИ</i>
1. В каких задачах требуется проводить динамический анализ.	ПК-15
2. Виды динамических воздействий.	ПК-15
3. Общее уравнение движения. Его формы для различных типов динамических анализов.	ПК-15
4. Способы решения общего уравнения движения.	ПК-15
5. Метод суперпозиции собственных форм.	ПК-15
6. Метод прямого интегрирования (метод Ньюмарка, метод Гильбера-Хьюза-Тейлора).	ПК-15
7. Модальный анализ. Последовательность действий при проведении модального анализа в ЛОГОС.	ПК-15
8. Кратные частоты собственных колебаний. Производные по	ПК-15

направлению для кратных частот.	
9. Модальный анализ предварительно напряженных конструкций.	ПК-15
10. Гармонический анализ. Полный метод. Усеченный метод. Метод суперпозиции мод.	ПК-15
11. Нахождение решения задачи гармонического анализа в виде набора амплитуд и фазовых углов.	ПК-15
12. Нахождение решения задачи гармонического анализа в виде реальной и мнимой частей решения.	ПК-15
13. Матрица коэффициентов динамического усиления внешней нагрузки.	ПК-15
14. Три типа демпфирования. Матрица демпфирования.	ПК-15
15. Последовательность действий при проведении гармонического анализа в ЛОГОС.	ПК-15
16. Анализ переходных процессов. Три метода решения.	ПК-15
17. Расчет систем с одной степенью свободы при действии произвольной нагрузки. Интеграл Дюамеля.	ПК-15
18. Динамический анализ переходных процессов полным методом.	ПК-15
19. Динамический анализ переходных процессов редуцированным методом.	ПК-15
20. Динамический анализ переходных процессов методом суперпозиции мод.	ПК-15
21. Последовательность действий при проведении анализа переходных процессов в ЛОГОС.	ПК-15
22. Ударные спектры для максимального отклика от действия прямоугольного, треугольного, полусинусоидального импульсов для линейной системы.	ПК-15
23. Максимальные отклики системы с n степенями свободы от действия прямоугольного, треугольного, полусинусоидального импульсов спектральным методом.	ПК-15
24. Спектральный анализ в ЛОГОС.	ПК-15
25. Решение задач механики контактного взаимодействия в ЛОГОС.	ПК-15
26. Проведение расчетов быстротекущих процессов в модуле ЛОГОС.	ПК-16
27. В каких задачах требуется проводить динамический анализ.	ПК-16
28. Виды динамических воздействий.	ПК-16
29. Общее уравнение движения. Его формы для различных типов динамических анализов.	ПК-16
30. Способы решения общего уравнения движения.	ПК-16
31. Метод суперпозиции собственных форм.	ПК-16
32. Метод прямого интегрирования (метод Ньюмарка, метод Гильбера-Хьюза-Тейлора).	ПК-16
33. Модальный анализ. Последовательность действий при проведении модального анализа в ЛОГОС.	ПК-16
34. Кратные частоты собственных колебаний. Производные по направлению для кратных частот.	ПК-16
35. Модальный анализ предварительно напряженных конструкций.	ПК-16
36. Гармонический анализ. Полный метод. Усеченный метод. Метод	ПК-16

суперпозиции мод.	
37. Нахождение решения задачи гармонического анализа в виде набора амплитуд и фазовых углов.	ПК-16
38. Нахождение решения задачи гармонического анализа в виде реальной и мнимой частей решения.	ПК-16
39. Матрица коэффициентов динамического усиления внешней нагрузки.	ПК-16
40. Три типа демпфирования. Матрица демпфирования.	ПК-16
41. Последовательность действий при проведении гармонического анализа в ЛОГОС.	ПК-16
42. Анализ переходных процессов. Три метода решения.	ПК-16
43. Расчет систем с одной степенью свободы при действии произвольной нагрузки. Интеграл Дюамеля.	ПК-16
44. Динамический анализ переходных процессов полным методом.	ПК-16
45. Динамический анализ переходных процессов редуцированным методом.	ПК-16
46. Динамический анализ переходных процессов методом суперпозиции мод.	ПК-16
47. Последовательность действий при проведении анализа переходных процессов в ЛОГОС.	ПК-16

5.2.2. Типовые задания для оценки формирования компетенций

№	Варианты заданий РГР. Темы расчетно-графических работ (РГР).	Код ФОРМИРУЕМОЙ КОМПЕТЕНЦИИ
1.	Модальный анализ консольной балки. Анализ предварительно напряженной консольной балки.	ПК-15
2.	Модальный анализ жестко закрепленной цилиндрической оболочки. Анализ предварительно напряженной жестко закрепленной цилиндрической оболочки.	ПК-15
3.	Оптимальное проектирование стержневых систем с учетом ограничений по прочности и кратным частотам собственных колебаний.	ПК-15
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.	ПК-15
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.	ПК-15
6.	Работа гасителя поперечных колебаний шарнирно опертой балки.	ПК-15
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%. Сравнить результаты, полученные в ЛОГОС и МАТНЕМАТИСА.	ПК-15
7.	Определить отклик системы с одной степенью свободы на импульсно ступенчато приложенную нагрузку с учетом и без демпфирования. Сравнить результаты, полученные в ЛОГОС и МАТНЕМАТИСА.	ПК-15
8.	Определить отклик системы с одной степенью свободы на импульсно треугольно приложенную нагрузку	ПК-15

	с учетом и без демпфирования. Сравнить результаты, полученные в ЛОГОС и МАТНЕМАТИСА.	
9.	Определить отклик системы с одной степенью свободы на двухступенчатую импульсно приложенную нагрузку с учетом и без демпфирования. Сравнить результаты, полученные в ЛОГОС и МАТНЕМАТИСА.	ПК-15
10.	Определить отклик системы с одной степенью свободы на полусинусоидально импульсно приложенную нагрузку с учетом и без демпфирования. Сравнить результаты, полученные в ЛОГОС и МАТНЕМАТИСА.	ПК-15
11.	Провести анализ переходных процессов (транзиентный анализ) консольной балки на импульсно ступенчато приложенную нагрузку с учетом и без демпфирования.	ПК-15
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.	ПК-15
13.	Определение максимального отклика системы с n степенями свободы от действия полусинусоидального импульса спектральным методом.	ПК-15
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.	ПК-15
15.	Определение максимального отклика системы с n степенями свободы от действия прямоугольного импульса спектральным методом.	ПК-16
16.	Провести спектральный анализ для плоской рамы в ЛОГОС. 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 ЛОГОС.	ПК-16
17.	Провести спектральный анализ для пространственной фермы в ЛОГОС. 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 ЛОГОС.	ПК-16
18.	Моделирование контактной задачи на примере плоского недеформируемого штампа в изотропную линейно упругую полуплоскость с помощью ЛОГОС.	ПК-16
19.	Моделирование контактной задачи на примере цилиндрического недеформируемого штампа в изотропную линейно упругую полуплоскость с помощью ЛОГОС.	ПК-16
20.	Моделирование штамповки профиля эластичным инструментом в ЛОГОС.	ПК-16
21.	Исследование соударения полого шара с недеформируемой преградой в ЛОГОС.	ПК-16
22.	Исследование падения контейнера в ЛОГОС.	ПК-16
23.	Проведение расчетов быстротекущих процессов в модуле ЛОГОС на примере падения блока на длинную балку.	ПК-16

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.МЕ20.Н00338 Госстандарта России)
2. Программный продукт ЛОГОС "
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 09.03.03 Прикладная информатика.

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 31.05.2023 года, протокол № 7.