

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

---

УТВЕРЖДЕНО  
решением Ученого совета ННГУ  
протокол № 10 от 02.12.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Численное моделирование поведения пороупругих тел и сред

---

Уровень высшего образования  
Бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность  
09.03.03 - Прикладная информатика

---

Направленность образовательной программы  
Суперкомпьютерное моделирование и инженерный анализ

---

Форма обучения  
очная

---

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.04.01 Численное моделирование поведения пороупругих тел и сред относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 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	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-15: 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	ПК-15.1: Демонстрирует знание теоретических основ и методологию построения решений фундаментальных задач механики, основы информационных технологий, в том числе суперкомпьютерных технологий ПК-15.2: Демонстрирует умение самостоятельно осуществлять анализ и выбор методов и алгоритмов решения задач профессиональной деятельности 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	ПК-15.1: Знать теоретические основы и методы построения решений основных задач трехмерной динамической теории пороупругости.  ПК-15.2: Уметь самостоятельно анализировать и выбирать методы и алгоритмы решения задач распространения волн в пороупругих средах.  ПК-15.3: Владеть методами решения задач трехмерной динамической пороупругости для инженерных целей с использованием современных программ суперкомпьютерного моделирования в соответствии с выбранными методами и построенными алгоритмами.	Задания Опрос	Зачёт: Контрольные вопросы
ПК-16: Имеет опыт самостоятельного проведения работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов	ПК-16.1: Демонстрирует знание особенностей поиска научно-технической информации в различных источниках, методов и технологий её обработки и анализа, а также способов представления	ПК-16.1: Знать законы распространения упругих деформаций в пористых средах, протекания механических волновых процессов в них.	Задания	Зачёт: Контрольные вопросы

суперкомпьютерного моделирования инженерных задач	<p>ПК-16.2: Демонстрирует умение самостоятельно 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>ПК-16.2: Уметь решать задачи механики пористых сред.</p> <p>ПК-16.3: Владеть навыками применения основных алгоритмы и методов создания программных средств, используемых для моделирования неоднородных сред.</p>		
---------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>3</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	1
<b>самостоятельная работа</b>	<b>75</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>0</b> <b>Зачёт</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			
		Занятия	Занятия	Всего	

		лекционного типа	семинарского типа (практические занятия/ лабора- торные работы), часы		
	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0
Основные понятия. Виды динамических воздействий.	19	2	2	4	15
Модальный анализ.	21	4	2	6	15
Гармонический анализ.	21	4	2	6	15
Анализ переходных процессов.	21	2	4	6	15
Численное моделирование динамического контакта деформируемых тел в ЛОГОС.	25	4	6	10	15
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	108	16	16	33	75

### Содержание разделов и тем дисциплины

1. Основные понятия. Виды динамических воздействий. Общее уравнение движения. Его формы для различных типов динамических анализов. Способы решения общего уравнения движения.
2. Метод прямого интегрирования Ньюмарка. Метод Гильбера-Хьюза-Тейлора.
3. Модальный анализ. Кратные частоты собственных колебаний. Производные по направлению для кратных частот. Модальный анализ предварительно напряженных конструкций.
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.
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.
6. Ударные спектры для максимального отклика от действия прямоугольного, треугольного, полусинусоидального импульсов для линейной системы.
7. Максимальные отклики системы с  $n$  степенями свободы от действия прямоугольного, треугольного, полусинусоидального импульсов спектральным методом.
8. Численное моделирование динамического контакта деформируемых тел в ЛОГОС.
9. Разработка алгоритмов и программных модулей для численного решения нелинейных задач динамики конструкций
10. Решение модельных задач динамики конструкций на основе программы ЛОГОС

### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Чекмарев Дмитрий Тимофеевич. Численное решение трехмерных динамических задач теории упругости на основе ажурной схемы МКЭ : учебно-методическое пособие / Д. Т. Чекмарев, А. В. Жидков ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2010. - 53 с. - Текст : электронный. <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=849935&idb=0>

## 5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

### 5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

#### 5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-15:

Модальный анализ консольной балки.

Анализ предварительно напряженной консольной балки.

Модальный анализ жестко закрепленной цилиндрической оболочки.

Анализ предварительно напряженной жестко закрепленной цилиндрической оболочки.

Оптимальное проектирование стержневых систем с учетом ограничений по прочности и кратным частотам собственных колебаний.

#### 5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-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 SR квадратов вручную и с помощью ЛОГОС.

Провести спектральный анализ для пространственной фермы в ЛОГОС. Выполнить сравнительный анализ максимальных значений выбранных компонент вектора узловых перемещений, полученных с использованием метода квадратного корня из суммы квадратов вручную и с помощью ЛОГОС.

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Выполнена основная часть задания, возможно с незначительными недочетами
не зачтено	Выполнено менее половины задания, есть существенные недочеты

#### 5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Опрос) для оценки сформированности компетенции ПК-15:

Моделирование контактной задачи на примере плоского недеформируемого штампа в изотропную линейно упругую полуплоскость с помощью ЛОГОС.

Моделирование контактной задачи на примере цилиндрического недеформируемого штампа в изотропную линейную полуплоскость с помощью ЛОГОС.
Моделирование штамповки профиля эластичным инструментом в ЛОГОС.
Исследование соударения полого шара с недеформируемой преградой в ЛОГОС.
Исследование падения контейнера в ЛОГОС.
Проведение расчетов быстротекущих процессов в модуле ЛОГОС на примере падения блока на длинную балку.
Модальный анализ консольной балки.
Анализ предварительно напряженной консольной балки.
Модальный анализ жестко закрепленной цилиндрической оболочки.
Анализ предварительно напряженной жестко закрепленной цилиндрической оболочки.
Оптимальное проектирование стержневых систем с учетом ограничений по прочности и кратным частотам собственных колебаний.

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Опрос)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент ответил на большую часть вопросов возможно с незначительными недочетами.
не зачтено	При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале

## 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатор достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

	отказа обучающегося от ответа		ошибок	несколько негрубых ошибок	несколько несущественных ошибок	нет.	
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	<b>превосходно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	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»
не зачтено	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### **5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:**

#### **5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-15**

В каких задачах требуется проводить динамический анализ.

Виды динамических воздействий.

Общее уравнение движения. Его формы для различных типов динамических анализов.

Способы решения общего уравнения движения.

Метод суперпозиции собственных форм.

Метод прямого интегрирования (метод Ньюмарка, метод Гильбера-Хьюза-Тейлора).

Модальный анализ. Последовательность действий при проведении модального анализа в ЛОГОС.

Кратные частоты собственных колебаний. Производные по направлению для кратных частот.

Модальный анализ предварительно напряженных конструкций.

Гармонический анализ. Полный метод. Усеченный метод. Метод суперпозиции мод.

Нахождение решения задачи гармонического анализа в виде набора амплитуд и фазовых углов.

Нахождение решения задачи гармонического анализа в виде реальной и мнимой частей решения.

Матрица коэффициентов динамического усиления внешней нагрузки.

Три типа демпфирования. Матрица демпфирования.

Последовательность действий при проведении гармонического анализа в ЛОГОС.

Анализ переходных процессов. Три метода решения.

Расчет систем с одной степенью свободы при действии произвольной нагрузки. Интеграл Дюамеля.

#### **5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-16**

Динамический анализ переходных процессов полным методом.

Динамический анализ переходных процессов редуцированным методом.

Динамический анализ переходных процессов методом суперпозиции мод.



Последовательность действий при проведении анализа переходных процессов ЛОГОС.

Ударные спектры для максимального отклика от действия прямоугольного, треугольного, полусинусоидального импульсов для линейной системы.

Максимальные отклики системы с  $n$  степенями свободы от действия прямоугольного, треугольного, полусинусоидального импульсов спектральным методом.

Спектральный анализ в ЛОГОС.

Решение задач механики контактного взаимодействия в ЛОГОС.

Проведение расчетов быстротекущих процессов в модуле ЛОГОС.

### **Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент дал развернутый ответ на все вопросы без существенных ошибок.
не зачтено	При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале.

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

Основная литература:

1. Мельников Роман Викторович. Использование метода конечных элементов в геотехнике : Учебное пособие / Тюменский индустриальный университет. - Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. - 188 с. - ВО - Специалитет. - ISBN 978-5-9729-0697-0., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=771818&idb=0>.
2. Баженов Валентин Георгиевич. Метод граничных элементов в трехмерной динамической теории упругости и вязкоупругости с сопряженными полями : учеб. пособие / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. - Н. Новгород : Изд-во Нижегород. гос. ун-та, 2007. - 328 с. - В надзаг.: Приоритетный национальный проект "Образование". Инновац. образоват. программа Нижегород. ун-та: Образовательно-научный центр "Информационно-телекоммуникационные системы: физические основы и математическое обеспечение". - ISBN 978-5-91326-028-4 : 143.83., 4 экз.

Дополнительная литература:

1. Коробейников Сергей Николаевич. Нелинейное деформирование твердых тел : монография / РАН, СО, Ин-т гидродинамики им. М. А. Лаврентьева. - Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2000. - 262 с. - ISBN 5-7692-0381-1 : 26.00., 2 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. Операционные системы семейства MicrosoftWindows, лицензия по подписке MicrosoftImagine.
2. Браузер Google Chrome, предоставляется бесплатно на условиях лицензионных соглашений на программное обеспечение с открытым исходным кодом.
3. Пакет программ ЛОГОС
4. Программный комплекс компьютерного моделирования процессов динамического деформирования сложных конструктивных элементов в трехмерной постановках «Динамика-3» (сертификат соответствия №РОСС RU.ME20.HO0338 Госстандарта России)
5. Информационно-аналитические материалы <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics.htm>  
<http://www.dynasupport.com/manuals>

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: 1. Специальное образовательное пространство «Учебно-лабораторный интерактивный комплекс "Суперкомпьютерное моделирование, проектирование и автоматизация производства изделий микроэлектроники", для проведения лабораторных и практических занятий, предусмотренных программой, оснащенное

- высокопроизводительной вычислительной системой: программно-аппаратным комплексом «Логос» (коммерческая лицензия);
- учебный класс с 15 персональными компьютерами с установленным специализированным прикладным программным обеспечением: программный комплекс инженерного назначения Логос (академическая лицензия);
- сетевым оборудованием для доступа к высокопроизводительному ПАК «Логос»;
- офисное и мультимедийное оборудование, включая оборудование для представления презентаций и организации видеоконференцсвязи, специализированная мебель.

2. Специальное образовательное пространство «Инженерный анализ, моделирование и проектирование электронных устройств и двух учебных классов, для проведения лабораторных, практических занятий и самостоятельной работы, предусмотренных программой, оснащенное

- 2 учебных класса по 9 персональных компьютеров с установленным специализированным прикладным программным обеспечением (академические лицензии): ПО Логос Аэро-Гидро, ПО Логос-Прочность, ПО Логос-Препост, ПО Логос-Платформа;
- сетевым оборудованием для обеспечения инженерных расчетов с рабочих мест на удаленных высокопроизводительных ресурсах, каналом доступа к высокопроизводительным вычислительным системам: вычислительный центр РФЯЦ-ВНИИЭФ, суперкомпьютер «Лобачевский»;
- офисное и мультимедийное оборудование, включая оборудование для представления презентаций и организации видеоконференцсвязи, специализированная мебель.

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 подготовки/специальности 09.03.03 - Прикладная информатика.

Автор(ы): Сергеев Олег Анатольевич, кандидат технических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Игумнов Леонид Александрович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 02.12.2024, протокол № 5.