

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

Геометрическое моделирование

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

01.04.02 - Прикладная математика и информатика

Направленность образовательной программы

Вычислительные методы и суперкомпьютерные технологии

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.03.04 Геометрическое моделирование 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-11: Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых задач производственно-технологической деятельности	<p>ПК-11.1: Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач</p> <p>ПК-11.2: Умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач</p> <p>ПК-11.3: Имеет навыки применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач</p>	<p>ПК-11.1: ЗНАТЬ</p> <p>– Математические методы, системное и прикладное программное обеспечение для геометрического моделирования и вычислительной графики для решения задач производственно-технологической деятельности.</p> <p>– Методику разработки программных комплексов и интерфейсов геометрического моделирования и графических вычислений для современных вычислительных систем.</p> <p>ПК-11.2: УМЕТЬ</p> <p>Применять на практике технологии, открытые программные среды, библиотеки и теоретические основы геометрического моделирования и вычислительной графики для решения задач производственно-технологической деятельности.</p> <p>ПК-11.3: ВЛАДЕТЬ</p> <p>навыками применения</p>	Практическое задание	Зачёт: Контрольные вопросы

		методов геометрического моделирования и вычислительной графики для решения задач производственно-технологической деятельности.		
ПК-4: Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач	<p>ПК-4.1: Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p> <p>ПК-4.2: Умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p> <p>ПК-4.3: Имеет навыки применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p>	<p>ПК-4.1: ЗНАТЬ</p> <p>- математические методы, системное и прикладное программное обеспечение геометрического моделирования и вычислительной графики для решения задач научной деятельности;</p> <p>– методику разработки программных комплексов и интерфейсов геометрического моделирования и графических вычислений для современных вычислительных систем.</p> <p>ПК-4.2: УМЕТЬ</p> <p>Применять на практике технологии, открытые программные среды, библиотеки и теоретические основы геометрического моделирования и вычислительной графики для решения научных задач.</p> <p>ПК-4.3: УМЕТЬ</p> <p>Применять на практике технологии, открытые программные среды, библиотеки и теоретические основы геометрического моделирования и вычислительной графики для решения задач производственно-технологической деятельности.</p>	Практическая задача	Зачёт: Контрольные вопросы

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

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

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			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
01-02. Роль геометрического моделирования в CAD системах	3	1	1	2	1
03-04. Сплайны.	20	2	2	4	16
05 Линейчатые поверхности и поверхности 2 порядка	4	1	1	2	2
06 Поверхности Кунса и Эрмита:	16	2	2	4	12
07 Кривые и поверхности подразбиения:	16	2	2	4	12
08 Рациональные сплайновые поверхности	22	3	3	6	16
09 Треугольные поверхности:	16	2	2	4	12
10 Симплексные сплайны	4	1	1	2	2
11 Дифференциальная геометрия кривых и поверхностей.	6	2	2	4	2
Аттестация	0				
КСР	1				1
Итого	108	16	16	33	75

Содержание разделов и тем дисциплины

- 01-02. Роль геометрического моделирования в CAD системах
- 03-04. Сплаины.
- 05 Линейчатые поверхности и поверхности 2 порядка
- 06 Поверхности Кунса и Эрмита
- 07 Кривые и поверхности подразбиения
- 08 Рациональные сплайновые поверхности
- 09 Треугольные поверхности:
- 10 Симплексные сплайны
- 11 Дифференциальная геометрия кривых и поверхностей.

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.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используются:
Электронные курсы, созданные в системе электронного обучения ННГУ:

Материалы лекций по модулю "Геометрическое моделирование": сост. Турлапов В.Е.,
<https://www.sites.google.com/site/turlapovveunn/geometricalmodeling>.

Иные учебно-методические материалы:

а) основная литература:

Материалы лекций по модулю "Геометрическое моделирование": сост. Турлапов В.Е.
(<https://www.sites.google.com/site/turlapovveunn/geometricalmodeling>).

б) дополнительная литература:

Курс «Практикум по компьютерной геометрии» –
<https://www.intuit.ru/studies/courses/645/501/info>.

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 - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ПК-11:

1) Поверхности подразбиения

а. Реализовать треугольные подразбиения поверхности, заданной управляющей грубой сеткой, используя библиотеку алгоритмов на C++ D.F.Rogers.

б. Реализовать интерполирующее подразбиение поверхности, заданной управляющей грубой сеткой, используя библиотеку алгоритмов на C++ D.F.Rogers.

2) Рациональные сплайновые поверхности

- a. Реализовать рациональную поверхность Безье, используя библиотеку алгоритмов на C++ D.F.Rogers.
- b. Реализовать NURBS поверхность, используя библиотеку алгоритмов на C++ D.F.Rogers.

3) Треугольные поверхности

- a. Реализовать преобразование координат точки и вектора в барицентрические координаты и треугольную поверхность Безье криволинейного PN- треугольника, используя библиотеку алгоритмов на C++ D.F.Rogers.
- b. Реализовать детализацию PN-треугольника, используя библиотеку алгоритмов на C++ D.F.Rogers.

Критерии оценивания (оценочное средство - Практическое задание)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Выполнены все или большая часть этапов решения задачи или задача решена с незначительными недочетами. Код и результаты работы представлены преподавателю в срок.
не зачтено	Выполнены не все лабораторные работы или выполнены не в полном объеме (представлено не полное описание этапов выполнения заданий, код работает некорректно, результаты работы не представлены преподавателю).

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Практическая задача) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

1) Сплаины

- a. Реализовать интерполяционный сплайн Эрмита и сглаживающий сплайн Безье в унифицированном интерфейсе, используя библиотеку алгоритмов на C++ D.F.Rogers.
- b. Реализовать интерполяционный сплайн Сплайн Кэтмул-Рома, используя библиотеку алгоритмов на C++ D.F.Rogers.
- c. Реализовать сглаживание полигонального контура В-сплайном; исследовать свойства В-сплайнов, используя библиотеку алгоритмов на C++ D.F.Rogers.

2) Кривые подразбиения

- a. Реализовать Алгоритм Чайкина, итерационную и предельную маски В-сплайна, используя библиотеку алгоритмов на C++ D.F.Rogers.
- b. Реализовать DLG схему интерполяции для управляющей ломаной.

3) Поверхности Кунса и Эрмита

- a. Реализовать кубические поверхности Кунса, используя библиотеку алгоритмов на C++ D.F.Rogers.
- b. Реализовать поверхности Эрмита, затягивающую остов кривых, как поверхность перехода, используя библиотеку алгоритмов на C++ D.F.Rogers.

с. Реализовать поверхности, затягивающие сетку кривых заплатами Кунса, как поверхность перехода, используя библиотеку алгоритмов на C++ D.F.Rogers.

Критерии оценивания (оценочное средство - Практическая задача)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Выполнены все или большая часть этапов решения задачи или задача решена с незначительными недочетами. Код и результаты работы представлены преподавателю в срок.
не зачтено	Выполнены не все лабораторные работы или выполнены не в полном объеме (представлено не полное описание этапов выполнения заданий, код работает некорректно, результаты работы не представлены преподавателю).

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

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора 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 отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<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	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов

						полном объеме	
<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	превосходно	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
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «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»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	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-11

- Кривые подразбиения: Алгоритм Чайкина. Один шаг подразбиения. Консолидированная математика одного шага. Локальная матрица подразбиения. Собственные векторы и значения. Оценочные маски
- Поверхности подразбиения. Треугольные подразбиения. Маски усреднения, оценки и вычисления касательных. Алгоритм. Поверхностные схемы. Вершинные схемы. Интерполирующее подразбиение поверхностей
- Рациональные сплайновые поверхности. Поверхность Безье и ее характеристический многогранник; рациональная поверхность Безье 2-го порядка в матричной форме;

- Правила дифференцирования рациональных поверхностей. NURBS поверхности, понятие порядка и характеристического многогранника; примеры NURBS-поверхностей; понятие плазовой поверхности.
- Треугольные поверхности. Преобразование координат точки и вектора в барицентрические координаты; треугольная билинейная поверхность; треугольная порция поверхности на трех кривых – треугольная поверхность Кунса.
- Треугольная поверхность Безье: свойство индексов ijk характеристической точки; формула в барицентрических координатах. Криволинейный PN-треугольник.
- Алгоритм Де Кастельжо: рекуррентное вычисление точки с координатами a, b, c по характеристическим точкам P_{ijk} . Увеличение числа характеристических точек треугольной поверхности Безье; треугольная рациональная поверхность Безье;
- Симплексные сплайны: А) В-сплайны на двумерной области определения, полуоткрытая выпуклая область, производная симплексного сплайна в направлении вектора t ; Б) примеры симплексных сплайнов.
- DMS поверхности; выражение для произвольной точки DMS поверхности через нормированные симплексные сплайны (CC) N_{ijk} .
- Дифференциальная геометрия кривых и поверхностей. Условие регулярности параметрической кривой; Касательная к кривой; Соприкасающаяся плоскость и нормали к кривой; Соприкасающаяся окружность.

Длина дуги кривой и Естественная параметризация; Кривизна и Кручение. Треугольник и Формулы Френе, их кинематическое истолкование. Натуральные уравнения кривой Поверхности. Первая квадратичная форма.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-4

- Роль геометрического моделирования (ГМ) в CAD системах. Основные понятия. Требования к геометрическим моделям, полнота геометрических и топологических данных.
- Полупространства. Constructive Solid Geometry (CSG). CSG- дерево. Заметание (Sweeping): Extrusion, Revolving. Boundary Representation (B-rep). Современные вызовы.
- Сплайны. Однородные и барицентрические координаты, аффинные и выпуклые комбинации точек. Сплайны интерполяционные: Эрмита и Фергюссона, Кардинальный сплайн, Сплайн Кэтмул-Рома.
- Сплайны сглаживающие: Безье, Безье по Кастельжо, их свойства; В-сплайны и NURBS: полиномиальные коэффициенты Кокса-де-Бура; равномерный В-сплайн; кратность узлов; свойства В-сплайнов.
- Линейчатые поверхности и поверхности 2 порядка. Общие сведения о линейчатых поверхностях. Конические и цилиндрические поверхности, определитель поверхности.
- Поверхности 2 порядка как l-кратные линейчатые: определение l-кратности; однополостный гиперболоид и гиперболический параболоид – формулировка теорем.
- Поверхности Кунса и Эрмита. Линейные, обобщенные и кубические поверхности Кунса. Поверхность Эрмита, затягивающая остов кривых, поверхность перехода. Поверхности, затягивающие сетку кривых заплатами Кунса.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

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 и решении

Оценка	Критерии оценивания
	стандартных задач.

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

Основная литература:

1. Ефимов Н. В. Высшая геометрия / Ефимов Н. В. - 7-е изд. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 584 с. - Рекомендовано Министерством образования Российской Федерации в качестве учебного пособия для студентов математических специальностей высших учебных заведений. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ФИЗМАТЛИТ - Математика. - ISBN 5-9221-0267-2., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=665711&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Шульц Михаил Михайлович. Аналитическая и вычислительная геометрия : спецкурс : учеб.-метод. пособие для студентов ННГУ, обучающихся по направлениям подготовки "Информ. технологии", "Приклад. математика и информатика" / ННГУ. - Н. Новгород : [б. и.], 2010 (Тип. ННГУ). - 125 с. - 80.00., 100 экз.
2. Макаров Е. М. Линейные и аффинные пространства в компьютерной геометрии : учебно-методическое пособие / Макаров Е. М. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2019. - 36 с. - Рекомендовано методической комиссией Института информационных технологий, математики и механики для студентов ННГУ, обучающихся по направлениям подготовки 01.03.01 «Математика», 02.03.01 «Математика и компьютерные науки». - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Математика., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=709379&idb=0>.
3. Киселев А. П. Геометрия / Киселев А. П. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2013. - 328 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ФИЗМАТЛИТ - Математика. - ISBN 978-5-9221-0367-1., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=700481&idb=0>.

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

- 1) Библиотека алгоритмов на C++. D.F.Rogers. NURBS. C-code: http://www.nar-associates.com/nurbs/c_code.html.
- 2) Geometric Tools Engine: Official site for the Geometric Tools Engine, a library of source code for computing in the fields of mathematics, graphics, image analysis, and physics (<http://www.geometrictools.com/>)

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

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 01.04.02 - Прикладная математика и информатика.

Автор(ы): Турлапов Вадим Евгеньевич, доктор технических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Мееров Иосиф Борисович, кандидат технических наук.

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