

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  
от 30.11.2022 г. протокол № 13

## **Рабочая программа дисциплины**

### **Геометрическое моделирование**

---

Уровень высшего образования  
**магистратура**

---

Направление подготовки  
**010402 Прикладная математика и информатика**

---

Направленность образовательной программы  
**Вычислительные методы и суперкомпьютерные технологии**

---

Форма обучения  
**очная**

---

Нижний Новгород  
2022

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ООП

### Место дисциплины в структуре ООП

Данная дисциплина (Б1.В.ДВ.01.02) читается в первом семестре магистратуры, относится к части, формируемой участниками образовательных отношений. Студенты к моменту освоения дисциплины должны быть ознакомлены с основными теоретическими понятиями и прикладными знаниями, полученными в рамках изучения дисциплины «Компьютерная графика» бакалавриата и дисциплины «Современная компьютерная графика» магистратуры; желательно владение технологией NVIDIA CUDA, интегрированием методом Монте-Карло.

### Цель освоения дисциплины

Целями данной дисциплины являются:

- Углубление знаний и профессиональных компетенций в области современной компьютерной графики до уровня, соответствующего международному пониманию уровня магистра по направлению Системное программирование.
- Освоение современных методов и информационных технологий геометрического моделирования в интересах науки, здравоохранения, промышленности и обороны.
- Освоение математического аппарата и современных эффективных методов и технологий обработки и хранения графической информации.

## 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-5 Способен разрабатывать и применять математические методы, системное и прикладное программное обеспечение для решения задач научной деятельности	ПК-5.1. Знает типовые математические методы и методологии разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной деятельности	<b>ЗНАТЬ</b> – Математические методы, системное и прикладное программное обеспечение геометрического моделирования и вычислительной графики для решения задач научной деятельности. – Методику разработки программных комплексов и интерфейсов геометрического моделирования и графических вычислений для современных вычислительных систем.	Тест (текущий контроль) Собеседование (зачет)

	<i>ПК-5.2. Умеет применять типовые математические методы и методологии разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной деятельности</i>	<b>УМЕТЬ</b> <i>Применять на практике технологии, открытые программные среды, библиотеки и теоретические основы геометрического моделирования и вычислительной графики для решения задач научной деятельности.</i>	Лабораторная работа (текущий контроль)
	<i>ПК-5.3 Имеет навыки разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной деятельности</i>	<b>ВЛАДЕТЬ</b> <i>Навыками применения геометрического моделирования и вычислительной графики для решения задач научной деятельности.</i>	Лабораторная работа (текущий контроль)
<i>ПК-12 Способен разрабатывать и применять математические методы, системное и прикладное программное обеспечение для решения задач производственно-технологической деятельности</i>	<i>ПК-12.1. Знает типовые математические методы и методологии разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения производственно-технологических задач</i>	<b>ЗНАТЬ</b> – Математические методы, системное и прикладное программное обеспечение геометрического моделирования и вычислительной графики для решения задач производственно-технологической деятельности. – Методику разработки программных комплексов и интерфейсов геометрического моделирования и графических вычислений для современных вычислительных систем.	Тест (текущий контроль) Собеседование (зачет)
	<i>ПК-12.2. Умеет применять типовые математические методы и методологии разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения производственно-технологических задач</i>	<b>УМЕТЬ</b> <i>Применять на практике технологии, открытые программные среды, библиотеки и теоретические основы геометрического моделирования и вычислительной графики для решения задач производственно-технологической деятельности.</i>	Лабораторная работа (текущий контроль)

	<i>ПК-12.3. Имеет навыки разработки системного программного обеспечения для решения задач производственно-технологической деятельности</i>	<i>ВЛАДЕТЬ Навыками применения геометрического моделирования и вычислительной графики для решения задач производственно-технологической деятельности.</i>	Лабораторная работа (текущий контроль)
--	--	---	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Трудоемкость дисциплины

	Очная форма обучения
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>2 ЗЕТ</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	<b>33</b>
– занятия лекционного типа	16
– занятия семинарского типа	0
– занятия лабораторного типа	16
– текущий контроль (КСР)	1
<b>самостоятельная работа</b>	<b>39</b>
<b>Промежуточная аттестация: зачет</b>	<b>0</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				
		из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего контактных часов	
01-02. Роль геометрического моделирования в CAD системах	3	1		1	2	1
03-04. Сплайны.	12	2		2	4	8
05 Линейчатые поверхности и поверхности 2 порядка	10	1		1	2	1
06 Поверхности Кунса и Эрмита:	10	2		2	4	6
07 Кривые и поверхности подразбиения:	10	2		2	4	6
08 Рациональные сплайновые поверхности:	14	3		3	6	8
09 Треугольные поверхности:	10	2		2	4	6
10 Симплексные сплайны	3	1		1	2	1
11 Дифференциальная геометрия кривых и поверхностей.	6	2		2	4	2
Текущий контроль (КСР)	1				1	
Промежуточная аттестация – зачет	0					
Итого	72	16		16	33	39

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

Текущий контроль успеваемости реализуется в форме проверки работ на занятиях лабораторного типа.

Промежуточная аттестация проходит в форме зачета.

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

Самостоятельная работа студентов подразделяется на следующие категории:

- Изучение учебной литературы (см. перечень образовательных материалов).
- Выполнение лабораторных работ на темы, представленные в п. 5.2.

Задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

## 5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине, включающий:

### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	Плохо	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Очень хорошо	Отлично	Превосходно
	Не зачтено		Зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможно 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 незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	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 незначительными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. 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 некоторыми недочетами.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и 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»
Не зачтено	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»

### Критерий оценивания лабораторной работы

Результаты работы	Оценка
Работа выполнена в полном объеме и в срок, результаты работы алгоритма корректные на тестовых примерах, результаты работы представлены преподавателю.	Зачтено
Работа не выполнена или выполнена не в полном объеме (программа работает некорректно на тестовых примерах, результаты работы не представлены преподавателю).	Не зачтено

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

### 5.2.1. Контрольные вопросы

Вопрос	Код компетенции
1) Роль геометрического моделирования (ГМ) в CAD системах. Основные понятия. Требования к геометрическим моделям, полнота геометрических и топологических данных.	ПК-5
2) Полупространства. Constructive Solid Geometry (CSG). CSG- дерево. Заметание (Sweeping): Extrusion, Revolving. Boundary Representation (B-rep). Современные вызовы.	ПК-5
3) Сплаины. Однородные и барицентрические координаты, аффинные и выпуклые комбинации точек. Сплаины интерполяционные: Эрмита и Фергюссона, Кардинальный сплайн, Сплайн Кэтмул-Рома.	ПК-5

4) Сплаины сглаживающие: Безье, Безье по Кастельжо, их свойства; В-сплайны и NURBS: полиномиальные коэффициенты Кокса-де-Бура; равномерный В-сплайн; кратность узлов; свойства В-сплайнов.	ПК-5
5) Линейчатые поверхности и поверхности 2 порядка. Общие сведения о линейчатых поверхностях. Конические и цилиндрические поверхности, определитель поверхности.	ПК-5
6) Поверхности 2 порядка как 1-кратные линейчатые: определение 1-кратности; однополостный гиперболоид и гиперболический параболоид – формулировка теорем.	ПК-5
7) Поверхности Кунса и Эрмита. Линейные, обобщенные и кубические поверхности Кунса. Поверхность Эрмита, затягивающая остов кривых, поверхность перехода. Поверхности, затягивающие сетку кривых заплатами Кунса.	ПК-5
8) Кривые подразбиения: Алгоритм Чайкина. Один шаг подразбиения. Консолидированная математика одного шага. Локальная матрица подразбиения. Собственные векторы и значения. Оценочные маски	ПК-12
9) Поверхности подразбиения. Треугольные подразбиения. Маски усреднения, оценки и вычисления касательных. Алгоритм. Поверхностные схемы. Вершинные схемы. Интерполирующее подразбиение поверхностей	ПК-12
10) Рациональные сплайновые поверхности. Поверхность Безье и ее характеристический многогранник; рациональная поверхность Безье 2-го порядка в матричной форме;	ПК-12
11) Правила дифференцирования рациональных поверхностей. NURBS поверхности, понятие порядка и характеристического многогранника; примеры NURBS-поверхностей; понятие плазовой поверхности.	ПК-12
12) Треугольные поверхности. Преобразование координат точки и вектора в барицентрические координаты; треугольная билинейная поверхность; треугольная порция поверхности на трех кривых – треугольная поверхность Кунса.	ПК-12
13) Треугольная поверхность Безье: свойство индексов $ijk$ характеристической точки; формула в барицентрических координатах. Криволинейный PN-треугольник.	ПК-12
14) 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;	ПК-12
15) Симплексные сплайны: А) В-сплайны на двумерной области определения, полукрытая выпуклая область, производная симплексного сплайна в направлении вектора $t$ ; Б) примеры симплексных сплайнов.	ПК-12
16) DMS поверхности; выражение для произвольной точки DMS поверхности через нормированные симплексные сплайны $(CC) N_{ijk}$ .	ПК-12
17) Дифференциальная геометрия кривых и поверхностей. Условие регулярности параметрической кривой; Касательная к кривой; Соприкасающаяся плоскость и нормали к кривой; Соприкасающаяся окружность.	ПК-12
18) Длина дуги кривой и Естественная параметризация; Кривизна и Кручение. Трехгранник и Формулы Френе, их кинематическое истолкование. Натуральные уравнения кривой Поверхности. Первая квадратичная форма.	ПК-12



### **5.2.2. Типовые темы лабораторных работ для оценки сформированности компетенции ПК-5**

#### **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 Кэтмун-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.
- c. Реализовать поверхности, затягивающие сетку кривых заплатами Кунса, как поверхность перехода, используя библиотеку алгоритмов на C++ D.F.Rogers.

### **5.2.3. Типовые темы лабораторных работ для оценки сформированности компетенции ПК-12**

#### **1) Поверхности подразбиения**

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

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

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>.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

- Библиотека алгоритмов на C++. D.F.Rogers. NURBS. C-code: [http://www.nar-associates.com/nurbs/c\\_code.html](http://www.nar-associates.com/nurbs/c_code.html).
- 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**

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой (лекционного и лабораторного типа), оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения.

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 01.04.02 Прикладная математика и информатика.

Автор: В.Е. Турлапов

Заведующий кафедрой Р.Г. Стронгин

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики от 30 ноября 2022 года, протокол № 3.