

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

О.Т. Прохоренко

«05» июля 2023 г.

Регистрационный № УД –12645/уч.

АЛГОРИТМЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:**

1-31 03 07 Прикладная информатика (по направлениям)

направление специальности:

1-31 03 07-01 Прикладная информатика

(программное обеспечение компьютерных систем)

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта высшего образования ОСВО 1-31 03 07-2021, типового учебного плана №G 31-1-030/пр.-тип. от 01.07.2021 и учебных планов БГУ №G 31-1-034/уч. от 23.07.2021, №G 31-1-023/уч. ин. от 23.07.2021.

СОСТАВИТЕЛИ:

О.Л. Коновалов –доцент кафедры информационных систем управления Белорусского государственного университета, кандидат технических наук, доцент

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

М.А. Журавков - заведующий кафедрой теоретической и прикладной механики, доктор физ.-мат. наук, профессор.

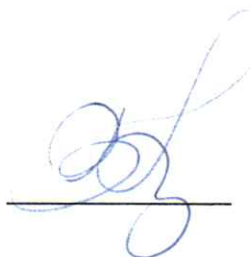
А.В. Тузиков - заведующий лабораторией математической кибернетики ОИПИ, доктор физ.-мат. наук, профессор.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой информационных систем управления Белорусского государственного университета
(протокол № 18 от 08.06.2023 г.).

Научно-методическим Советом БГУ
(протокол № 9 от 29.06.2023 г.)

Заведующий кафедрой



В.В. Краснопрошин

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Вычислительная геометрия – это раздел информатики, изучающий алгоритмы решения геометрических задач. Алгоритмы вычислительной геометрии используются в компьютерной графике, геоинформационных системах, web-картографии, численном моделировании, проектировании больших интегральных схем, реконструкции трехмерных объектов и др.

Теоретический и алгоритмический базис вычислительной геометрии лежит в основе современных технологий создания, хранения и управления цифровыми моделями трехмерных объектов, а также при решении задач CAD\CAE моделирования.

Основой для обучения являются компетенции, сформированные при изучении дисциплины «Математический анализ», «Геометрия и алгебра», «Теория алгоритмов».

Цели и задачи учебной дисциплины

Учебная дисциплина «Алгоритмы вычислительной геометрии» ориентирована на ознакомление студентов с теоретическим, алгоритмическим и программным базисом современной вычислительной геометрии.

Цель преподавания учебной дисциплины «Алгоритмы вычислительной геометрии» – сформировать у студента теоретические и практические компетенции в области целостного представления цифровых моделей геометрических объектов, понимания места и роли алгоритмов вычислительной геометрии, применения технологий анализа и обработки пространственных данных, дать практические навыки разработки прикладных САД систем.

При изложении курса важно показать возможности использования интегрированных сред разработки и пакетов прикладных программ для решения прикладных задач, возникающих в различных областях науки, техники, экономики и производства.

Задачи учебной дисциплины

Основной задачей, решаемой при изучении учебной дисциплины «Алгоритмы вычислительной геометрии», является подготовка специалиста, владеющего знаниями в области прикладных технологий обработки, анализа и визуализации пространственных данных; понимающего концепции и технологии современного представления, анализа и обработки пространственных данных; владеющего умениями и навыками самостоятельного решения прикладных задач с использованием современных программных средств.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием

Учебная дисциплина относится к циклу дисциплин специализаций компонента учреждения высшего образования учебного плана специальности 1-31 03 07 Прикладная информатика (по направлениям) направление специальности 1-31 03 07-01 Прикладная информатика (программное обеспечение компьютерных систем) .

Программа составлена с учётом межпредметных **связей** с учебными дисциплинами данной специальности.

Дисциплина «Алгоритмы вычислительной геометрии» непосредственно связана с дисциплинами:

– «Математический анализ», «Геометрия и алгебра», «Теория алгоритмов», «Дискретная математика и математическая логика», «Вычислительные методы алгебры», «Методы оптимизации». Теоретические основы, излагаемые в указанных дисциплинах, используются при реализации алгоритмов вычислительной геометрии и оценке их эффективности.

Сформированные при изучении дисциплины «Алгоритмы вычислительной геометрии» компетенции используются при изучении дисциплин «Искусственный интеллект» и «Теория распознавания образов».

Знания, полученные в учебной дисциплине, используются при изучении дисциплин специализации, при выполнении курсовых и дипломных работ, а также используются как инструментарий для моделирования и компьютерного решения задач ряда математических дисциплин, изучаемых на старших курсах.

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Алгоритмы вычислительной геометрии» должно обеспечить формирование следующей **универсальной компетенции:**

УК-2. Решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе применения информационно-коммуникационных технологий.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- основные понятия теории дифференциальной и симплициальной геометрии и топологии;
- базовые алгоритмы вычислительной геометрии и методы оценки их сложности;
- современные библиотеки алгоритмов вычислительной геометрии;
- базовые программно-технические решения для подключения библиотек алгоритмов к современным CAD системам;

уметь:

- программировать задачи обработки и анализа пространственных данных;
- использовать современные библиотеки алгоритмов вычислительной геометрии;
- разрабатывать программные САД-приложения обработки пространственных данных с заданной функциональностью;
- оценивать эффективность различных решений обработки пространственных данных;
- разрабатывать программные приложения визуализации пространственных данных;

владеть:

- навыками разработки программных модулей на основе прикладных САД-пакетов для генерации и анализа пространственных данных;
- навыками программирования алгоритмов вычислительной геометрии,
- навыками работы с программными модулями и средствами для визуализации пространственных данных.

Структура учебной дисциплины

Форма получения высшего образования – дневная (очная).

Дисциплина изучается в 5 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Алгоритмы вычислительной геометрии» отведено:

– для очной формы получения высшего образования – 108 часов, в том числе 68 аудиторных часа, из них: лекции – 34 часа, лабораторные работы – 30 часов, управляемая самостоятельная работа – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Основные понятия теории дифференциальной и симплициальной геометрии и топологии

Тема 1.1. Основные понятия симплициальной геометрии и топологии

Базовые понятия комбинаторной геометрии и вычислительной топологии. Симплициальные комплексы. Полиэдры. Связность и однородность. Разбиения. Теорема о классификации симплициальных многообразий.

Тема 1.2. Дифференциальная геометрия. Способы представления кривых и поверхностей.

Базовые понятия дифференциальной геометрии. Понятие параметрической кривой. Канонические координаты. Кривизна. Непараметрическая кривая. Сплайн кривые. Параметрические и непараметрические поверхности. Кривизна поверхности. Гауссова и средняя кривизна поверхности. Минимальные поверхности. Конструктивные поверхности. Безье и В-сплайн поверхности. Безье треугольники. Поверхности Грегори.

Раздел 2. Программирование алгоритмов вычислительной геометрии

Тема 2.1. Реберный список с двойными связями

Представление реберного списка с двойными связями (РСДС). Алгоритм построения РСДС. Представление РСДС в библиотеке CGAL.

Тема 2.2. Библиотека вычислительной геометрии CGAL

Структура и состав библиотеки. Типовые структуры. Ядро библиотеки. Базовые алгоритмы. Примеры использования. Алгоритмы реконструкции трехмерных поверхностей. Алгоритмы детектирования.

Тема 2.3. AUTOCAD API

Создание типового проекта в Microsoft Visual Studio. Механизм доступа к объектам чертежа AUTOCAD. Типы объектов. Создание, поиск и редактирование объектов чертежа. Представление 3d объектов. Представление топологии.

Тема 2.4 CGAL C# wrapping

Назначение и структура оболочки. Структура базовых классов. Состав алгоритмов. Примеры вызова алгоритмов библиотеки CGAL. Пример создания пользовательского приложения в AUTOCAD.

Раздел 3. Базовые алгоритмы вычислительной геометрии

Тема 3.1. Задачи локализации и регионального поиска.

Принадлежность многоугольнику. Выпуклый случай. Звездные многоугольники. Локализация точки на планарном подразбиении (ППЛГ). Метод полос. Метод планарного сепаратора. Метод детализации триангуляции. Метод трапеций. Принадлежность многоугольнику. Выпуклый случай. Звездные многоугольники.

Тема 3.2. Построение выпуклых оболочек

Полиэдры. Выпуклая оболочка (ВО). Выпуклый d -политоп. Симплициальный политоп. Нижние оценки сложности построения ВО. Крайние точки. Метод обхода Грэхема. Обход методом Джарвиса. Быстрые методы построения ВО. Алгоритмы «разделяй и властвуй». Динамические алгоритмы построения ВО. ВО в трехмерном пространстве.

Тема 3.3. Триангуляция Делоне и диаграмма Вороного

Триангуляция Делоне. Теорема Делоне. Диаграмма Вороного. Свойства диаграммы Вороного (ДВ). Построение ДВ методом цепей.

Раздел 4. Геометрическая оптимизация

Тема 4.1. Евклидово минимальное остовое дерево.

Евклидово минимальное остовое дерево (ЕМОД). Алгоритм построения ЕМОД через триангуляцию Делоне.

Тема 4.2. Сети Штейнера

Сети Штейнера. Теорема Штейнера. Алгоритм построения сети Штейнера.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования с применением электронных средств обучения (ДОТ)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСП	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Алгоритмы вычислительной геометрии	34			30		4	
1.	Основные понятия теории дифференциальной и симплициальной геометрии и топологии	4						
1.1.	Основные понятия симплициальной геометрии и топологии	2						Экспресс-опрос
1.2.	Дифференциальная геометрия. Способы представления кривых и поверхностей.	2						Собеседование
2.	Программирование алгоритмов вычислительной геометрии	8			8		2	
2.1.	Реберный список с двойными связями	2			2		2	Расчетно-графическая работа №1
2.2.	Библиотека вычислительной геометрии CGAL	2			2			Экспресс-опрос
	AUTOCAD API	2			2			Собеседование
	CGAL C# wrapper	2			2			Экспресс-опрос
3.	Базовые алгоритмы вычислительной геометрии	18			18			

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСП	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
3.1.	Задачи локализации и регионального поиска.	6			6			Коллоквиум по материалам тем 1.1, 1.2, 2.1
3.2.	Построение выпуклых оболочек	6			6			Расчетно-графическая работа №2
3.3.	Триангуляция Делоне и диаграмма Вороного	6			6			Расчетно-графическая работа №3
4.	Геометрическая оптимизация	4			4		2	
4.1.	Евклидово минимальное остовое дерево.	2			2			Расчетно-графическая работа №4
4.2.	Сети Штейнера	2			2		2	Экспресс-опрос

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Dr. Jim Arlow, "Interactive Computational Geometry Second Edition" from the Notebook Archive (2019).
2. Laszlo, "Computational Geometry and Computer Graphics in C++", Pearson India; second edition, February 3, 2019.

Перечень дополнительной литературы

1. Яковлев, Е. И. Вычислительная топология / Е. И. Яковлев. – Нижний Новгород: Изд-во ННГУ, 2005. – 214 с.
2. Препарата Ф., Шеймос М. Вычислительная геометрия. — М.: Мир, 1989. — 478 с.
3. Gerald Farin "Curves and surfaces for CAGD" // Academic press, 1993.
4. Delaunay Refinement Algorithms for Triangular Mesh Generation, Computational Geometry: Theory and Applications 22(1–3):21–74, May 2002
5. François Labelle and Jonathan Richard Shewchuk, Isosurface Stuffing: Fast Tetrahedral Meshes with Good Dihedral Angles, ACM Transactions on Graphics 26(3):57.1–57.10, August 2007. Special issue on Proceedings of SIGGRAPH 2007.
6. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и её применение. — Томск: Издательство Томского университета, 2002. — 128 с.

Электронные ресурсы

1. Описание библиотеки вычислительной геометрии Computational Geometry Algorithms Library (CGAL). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doc.cgal.org/latest/Manual/index.html>.
2. Оболочка для доступа к функциональности библиотеки CGAL из C# проектов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/Scrawk/CGALDotNet>

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Для диагностики компетенций в рамках учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы:

1. *Устная форма*: экспресс-опрос, собеседование.
2. *Письменная форма*: коллоквиум.
3. *Устно-письменная форма*: расчетно-графические работы.

В качестве рекомендуемых технических средств диагностики используется обучение, организованное на платформе Moodle (<https://edufpmi.bsu.by>).

Формой промежуточной аттестации по дисциплине учебным планом предусмотрен зачет.

Критерием оценивания являются устные ответы, выполнение заданий для управляемой самостоятельной работы и расчетно-графических работ. Расчетно-графические работы по результатам выполнения и защиты оцениваются с учетом следующих основных параметров:

- своевременное выполнение работы;
- полнота и правильность ответов на вопросы, заданные в ходе защиты работ.

В случае выполнения данных условий студент имеет возможность сдавать зачет.

Отметка «зачтено» выставляется студенту, который твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Отметка «не зачтено» выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, допускающему в ответе или в решении задач грубые ошибки.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Тема 3.3. Триангуляция Делоне и диаграмма Вороного (2 ч.)

1. Инверсная теорема. Алгоритм построения 2d триангуляции Делоне через построение выпуклой оболочки в трехмерном пространстве. Форма контроля – экспресс-опрос.
2. Инверсная теорема. Алгоритм построения диаграммы дальней точки через построение выпуклой оболочки в трехмерном пространстве. Форма контроля – экспресс-опрос.

Тема 4.2. Сети Штейнера (2 ч.)

1. Построение сети Штейнера для правильного пятиугольника. Форма контроля – экспресс-опрос.
2. Алгоритм нахождения множества тупиковых пар. Форма контроля – экспресс-опрос.

Примерная тематика лабораторных занятий

Занятие № 1. Настройка среды разработки AUTOCAD API. Создание простейшего плагина.

Занятие № 2. Настройка среды разработки CGAL C# wrapper. Реализация алгоритмов построения выпуклой 2d оболочки и заметающей прямой.

Занятие № 3. Реализация алгоритмов разбиения полигонов и построения триангуляции Делоне.

Занятие № 4. Реализация алгоритма построения диаграммы Вороного.

Занятие № 5. Реализация плагина AUTOCAD для построения пространственной спирали.

Занятие № 6-7. Реализация плагина AUTOCAD для построения РСДС для выбранного множества отрезков. Расчетно-графическая работа №1.

Занятие № 8. Реализация плагина AUTOCAD для построения лексикографической триангуляции.

Занятие № 9-10. Реализация плагина AUTOCAD для построения трехмерной выпуклой оболочки. Расчетно-графическая работа №2.

Занятие № 11. Реализация плагина AUTOCAD для построения деревьев Линдемайера.

Занятие № 12-13. Реализация плагина AUTOCAD для построения диаграммы Вороного дальней точки. Расчетно-графическая работа №3.

Занятие № 14-15. Реализация плагина AUTOCAD для построения ЕМОД. Расчетно-графическая работа №4.

Рекомендуемая тематика коллоквиума

1) Коллоквиум «Симплициальные комплексы. Полиэдры. Связность и однородность. Разбиения. Теорема о классификации симплициальных многообразий».

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используются следующие методы:

– *метод группового обучения*, который представляет собой форму организации учебно-познавательной деятельности обучающихся, предполагающую функционирование разных типов малых групп, работающих как над общими, так и специфическими учебными заданиями.

В качестве технических средств для организации работы в рамках учебной дисциплины рекомендуется использовать Образовательный

портал БГУ (<https://edufpmi.bsu.by>) – инструмент с эффективной функциональностью контроля, тренинга и самостоятельной работы.

– *практико-ориентированный подход*, который предполагает освоение содержания образования через решения практических задач; приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности; ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов; использование процедур, способов оценивания, фиксирующих профессиональные компетенции.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Для организации самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине следует использовать современные информационные ресурсы: разместить на образовательном портале комплекс учебных и учебно-методических материалов (учебно-программные материалы, учебное издание для теоретического изучения дисциплины, методические указания к лабораторным занятиям, материалы текущего контроля и текущей аттестации, позволяющие определить соответствие учебной деятельности обучающихся требованиям образовательных стандартов высшего образования и учебно-программной документации, в том числе вопросы для подготовки к зачету, задания, тесты, вопросы для самоконтроля и др., список рекомендуемой литературы, информационных ресурсов и др.).

Примерный перечень вопросов к зачету

1. Принадлежность многоугольнику. Выпуклый случай. Звездные многоугольники. Локализация точки на планарном подразбиении(ППЛГ).
2. Принадлежность многоугольнику. Метод полос. Метод планарного сепаратора. Метод детализации триангуляции. Метод трапеций.
3. Цепи ППЛГ. Алгоритм построения полного множества цепей.
4. Построение диаграммы Вороного методом «разделяй и властвуй». Алгоритм построения разделяющей цепи.
5. Диаграммы Вороного высших порядков.
6. Алгоритм построения диаграммы дальней точки.
7. Понятие триангуляции Делоне. Лексикографическая триангуляция.
8. Полиэдры. Связность и однородность. Теорема о классификации двумерных симплициальных многообразий.
9. Триангуляции с ограничениями. Триангуляция Шнейнера.
10. Сеть Штейнера. Алгоритм построения сети Шнейнера.
11. Теорема Делоне. Flipping алгоритм.
12. Алгоритм построения 2d триангуляции Делоне через построение выпуклой оболочки в трехмерном пространстве (Инверсная теорема ч1.).
13. Алгоритм построения диаграммы дальней точки через построение выпуклой оболочки в трехмерном пространстве (Инверсная

теорема ч2.).

14. Выпуклая оболочка(ВО). Выпуклый d -политоп. Симплициальный политоп. Нижние оценки сложности построения ВО. Крайние точки.

15. Метод обхода Грэхема. Обход методом Джарвиса. Быстрые методы построения ВО. Алгоритмы «разделяй и властвуй».

16. Динамические алгоритмы построения ВО. ВО в трехмерном пространстве.

17. Библиотеки CGAL. Назначение, состав и структура. Структура базовых классов. библиотеки CGAL.

18. Представление реберного списка с двойными связями (РСДС). Алгоритм построения РСДС. Представление РСДС в библиотеке CGAL.

19. AutoCAD C# API. Механизм доступа к объектам чертежа AUTOCAD. Типы объектов. Создание, поиск и редактирование объектов чертежа.

20. AutoCAD C# API. Представление 3d объектов. Представление топологии.

Примерный перечень заданий к зачету

1. Построение сети Штейнера для правильного пятиугольника.
2. Построить РСДС для заданного набора отрезков.
3. Найти изолированные особенности для заданного симплициального комплекса.
4. Найти ребра ветвления для заданного симплициального комплекса.
5. Построить симплициальный комплекс для заданного полиэдра.
6. Выполнить классификацию заданного симплициального комплекса.
7. Для заданной сети Штейнера найти все тупиковые вершины и все тупиковые пары вершин.

**ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ
УВО**

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Искусственный интеллект	Информационных систем управления	Нет	Изменений не требуется (протокол № 18 от 08.06.2023 г.).

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

на ____ / ____ учебный год

№ № П / П	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры информационных систем управления (протокол № ____ от _____ 202_ г.)

Заведующий кафедрой

_____ (степень, звание) _____ (подпись) _____ (И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

_____ (степень, звание) _____ (подпись) _____ (И.О.Фамилия)