

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

«Утверждаю»

Декан факультета ВМК МГУ  
имени М.В. Ломоносова



\_\_\_\_\_ Е.И. Моисеев

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

«Анализ графов, сетей, функций сходства»

Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре

Направление подготовки – 09.06.01 «информатика и вычислительная техника»

Профиль подготовки – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

2017 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### 1. НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Анализ графов, сетей, функций сходства

### 2. УРОВЕНЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.

### 3. НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ, НАПРАВЛЕННОСТЬ (ПРОФИЛЬ) ПОДГОТОВКИ

Направление 09.06.01 «информатика и вычислительная техника». Направленность (профиль) «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

### 4. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина является обязательной для освоения в 4-м семестре обучения.

### 5. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательной программы:

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения
Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1)	У2 (УК-1) УМЕТЬ: при решении исследовательских и практических задач генерировать новые идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений  В2 (УК-1) ВЛАДЕТЬ: навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях
Владением методологией теоретических и экспериментальных исследова-	З1 (ОПК-1) ЗНАТЬ:

<p>ний в области профессиональной деятельности (ОПК-1)</p>	<p>современные математические методы, применяющиеся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий</p> <p>У1 (ОПК-1) УМЕТЬ: применять современные методы постановки и анализа задач в области математики и информатики</p> <p>В1 (ОПК-1) ВЛАДЕТЬ: навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики</p>
<p>Владение современными алгоритмами компьютерной математики, способность совершенствовать, углублять и развивать математическую теорию, лежащую в их основе (ПК-3)</p>	<p>З1 (ПК-3) ЗНАТЬ: классические алгоритмы компьютерной математики, основные факты математической теории, лежащей в их основе;</p> <p>У1 (ПК-3) УМЕТЬ: применять классические алгоритмы компьютерной математики, оперировать основными фактами математической теории, лежащей в их основе;</p> <p>В1 (ПК-3) ВЛАДЕТЬ: базовыми навыками выбора алгоритмов компьютерной математики с учетом основных фактов математической теории, лежащей в их основе.</p>
<p>Владение классическими и специальными моделями данных, основанными на попарном рассмотрении объектов, способность преобразовывать содержательные задачи для применения таких моделей и соответствующих методов (СПК-9)</p>	<p>З1 (СПК-9) ЗНАТЬ: классические и специальные модели представления и преобразования информации, основанные на попарном рассмотрении объектов, основные факты математической теории, лежащей в их основе;</p> <p>У1 (СПК-9) УМЕТЬ: применять классические и специальные модели данных и методы их анализа, основанные на попарном рассмотрении объектов, оперировать основными фактами математической теории, лежащей в их основе;</p> <p>В1 (СПК-9) ВЛАДЕТЬ: базовыми навыками выбора модели представления и преобразования</p>

	информации, основанной на попарном рассмотрении объектов, с учетом основных фактов математической теории, лежащей в их основе.
--	--

Оценочные средства для промежуточной аттестации приведены в Приложении.

## **6. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ**

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов.

40 часов составляет контактная работа с преподавателем – 36 часа занятий лекционного типа, 0 часов занятий семинарского типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.), 0 часов индивидуальных консультаций, 4 часа мероприятий промежуточной аттестации.

68 часов составляет самостоятельная работа аспиранта.

## **7. ВХОДНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Учащиеся должны владеть знаниями по линейной алгебре, математическому анализу, теории вероятностей, математической статистике, теории графов, соответствующими основным образовательным программам бакалавриата по укрупненным группам направлений и специальностей 01.00.00 «Математика и механика» или 02.00.00 «Компьютерные и информационные науки».

## **8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Процесс обучения состоит из изучения теории и решения практических заданий, а также самостоятельного ознакомления с научными статьями. В ходе семестра студентом выполняется работа, по результатам которой выполняется доклад и пишется реферат. В середине семестра проводится контрольная работа. В конце семестра проводится устный экзамен.

## **9. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рассматриваются модели, задачи и методы анализа систем, описание которых базируется на попарном или множественном взаимодействии объектов. Эти объекты могут быть однотипными (гомогенные системы) или разнотипными (гетерогенные системы). В математике приняты 3 основных способа формализации упомянутого взаимодействия. Когда важно само наличие или отсутствие взаимодействия, формализация

проводится на языке теории графов. Расширению графового описания различными характеристиками вершин и рёбер приводит к сетям. Если считается, что каждый набор объектов может быть охарактеризован численно, говорят о расстояниях или сходствах. Также описанием взаимодействия объектов может быть порядок на них. Представлена теоретическая основа для формализации задач и построения, реализации и анализа широкого спектра моделей и методов ИАД. Исследуются эвристические модели данных, описывающие исходную информацию об объектах распознавания на основе различных реализаций понятия сходства. Рассматриваются задачи, требующие решения при реализации указанных моделей. Изучаются специальные структуры данных и алгоритмы, позволяющие эффективно настраивать и использовать изучаемые модели. Идея сходства свойственна человеческому мышлению, это породило целый комплекс подходов для всех фундаментальных задач ИАД — так называемые метрические методы. Рассмотрены методы построения и вычисления функций сходства, согласование сходства на различных множествах объектов, синтез новых способов сравнения объектов на базе уже имеющихся. Рассмотрен комплекс приёмов, предназначенный для эффективного представления и обработки метрической информации вычислительными системами. Рассматриваются характеристики графов, активно используемые при их анализе. Изучаются алгоритмы на графах — как теоретически, так и с точки зрения эффективной реализации. Различные модели роста графов. Построение репрезентативных выборок на графах. Генерация графов с заданными характеристиками. Существенное внимание в курсе уделено многочисленным формализациям кластерного анализа. Показано, какие задачи решают распространённые методы. Проведена типологизация широкого спектра задач кластеризации для гомогенных и гетерогенных систем (бикластеризация, кокластеризация).

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы					Самостоятельная работа обучающегося, часы			
		из них					из них			
Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, практические контрольные занятия и др)*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п..	Всего		
Модуль 1.	14	6	-	-	-	6	8	-		

<p>Введение . Подходы к описанию попарного взаимодействия объектов. Роль попарного взаимодействия в фундаментальных задачах ИАД.</p> <p>Основные подходы к заданию сходства в гомогенных системах. Функциональный подход: двуместные функции, удовлетворяющие аксиомам. Геометрический подход: определение в пространстве множеств точек. Табличный подход: матрицы попарного сходства над конечными множествами.</p> <p>Классическое определение метрики и метрического пространства. Аксиоматическое задание метрики. Сходимость, фундаментальные последовательности. Роль неравенства треугольника, непрерывность метрики. Роль аксиомы сепарабельности, единственность предела. Ассоциированные метрики, мультиметрические пространства.</p> <p>Различные функции сходства и различия, модификации системы аксиом метрики и их интерпретация: расстояние, полуметрика, ультра-метрика, квази-метрика, неравенство Птолемея.</p>													
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

<p>Сопоставление функций сходства и отношений эквивалентности. Сопоставление функций сходства и отношений порядка.</p> <p>Геометрические подмножества метрических пространств. Понятия открытого и замкнутого шара, их согласованность с топологией метрического пространства. Понятия открытого и замкнутого обобщенного эллипсоида. Клетки Дирихле («сферы влияния»), автоматическое исправление ошибок. Геометрическое место точек, равноудаленных от заданных точек, проблема меры указанного подмножества.</p> <p>Понятие кривой в метрическом пространстве, длина кривой. Геодезическая линия, кривая наименьшей длины, сегмент. Свойство совпадения геодезических с множествами равноудаленных точек в обобщенных евклидовых пространствах.</p> <p>Примеры метрических пространств. Пространство изолированных точек, дискретная топология. Метрики <math>l_1</math> (городских кварталов), <math>l_2</math> (евклидова), <math>l_\infty</math> (Чебышёва), Метрика <math>l_p</math></p>													
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

<p>(Минковского), их физический смысл. Форма шаров, вложенность единичных шаров. Проблема единственности кратчайшего пути.</p> <p>Зависимость объема шара от размерности пространства. Проблема сопоставления объема шаров в разных метриках с ростом размерности.</p> <p>Хаусдорфова метрика и другие метрики между подмножествами метрического пространства, индуцированные исходной метрикой между точками. Расстояния между функциями (графиками). Метрики на декартовом произведении метрических пространств, случай конечного и бесконечного числа сомножителей, метрики на последовательностях.</p>										
<p>Модуль 2.</p> <p>Характеристики метрик. Инвариантность расстояния относительно сдвига (параллельного переноса). Инвариантность расстояния относительно поворота. Инвариантность объема шаров относительно положения центра и направления на центр. Инвариантность</p>	30	10	-	-	-		10	20	-	

<p>формы шаров относительно положения центра и направления на центр. Ограниченность метрики. Ограниченность, выпуклость, односвязность шаров. Существование и единственность сегментов, непрерывность сегментов.</p> <p>Понятие полностью абсолютных и полностью относительных метрик, промежуточные метрики.</p> <p>Преобразования метрик.</p> <p>Изометрические преобразования пространств. Преобразования функций, сохраняющие метрические свойства. Некоторые достаточные условия преобразований, сохраняющих метрические свойства. Ограничение значений метрики (range componders). Примеры универсальных компандеров.</p> <p>Возможность монотонного преобразования произвольной функции в метрику.</p> <p>Возможность линейного преобразования произвольной ограниченной функции в метрику.</p> <p>Нормализация (релятивизация) метрик, зависимость от точки отсчета. Примеры для пространств множеств и</p>										
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

<p>евклидовых пространств. Переход от булеанов конечных множеств к пространствам бинарных векторов, соответствие мощности множества и длины вектора. Реализация метрик: формализация, разрешимость, сложность. Реализация конечных метрик точками ЛВП, точечные конфигурации. Алгоритмическая сложность решения задачи точного вложения в линейные пространства с метриками <math>l_1, l_2, l_{\infty}</math>. Примеры МК, имеющих или не имеющих точную реализацию. Задача поиска оптимальной точечной конфигурации в пространстве малой размерности, методы метрического и неметрического многомерного шкалирования. Сокращение размерности. Реализация многомерных данных элементами функциональных пространств. Визуализация гомогенных и гетерогенных объектов с учётом их сходства. Методы построения и вычисления функций сходства для попарного или множественного взаимодействия</p>										
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

гомогенных или гетерогенных объектов. Точный и приближенный поиск ближайших соседей.										
<p>Модуль 3.</p> <p>Методы эффективного представления и обработки конечной метрической информации вычислительными системами.</p> <p>Типологизация задач кластеризации для гомогенных и гетерогенных систем (бикластеризация, кокластеризация, тематическое моделирование). Основные типы результатов кластеризации (плоская, иерархическая, нечёткая, стохастическая, ранговая).</p> <p>Основные подходы к решению различных типов задач кластеризации. Проблема соответствия метода кластеризации формальной задаче. Метрики на метриках, аппроксимация метрик метриками. Метрические деревья. Ультраметрические деревья. Филогенетические</p>	24	8	-	-	-		8	16	-	

<p>деревья, интерпретация длин ребёр и нетерминальных вершин в ультраметрических деревьях, гипотеза молекулярных часов. Гарантированное получение классов эквивалентности. Общая схема вычисления ближайшей ультраметрики.</p>										
<p>Модуль 4.</p> <p>Графы и сети. Основные определения.</p> <p>Алгоритмы на графах, дискретная оптимизация. Характеристики алгоритмов, основные подходы к реализации. Ускорение алгоритмов на примере задачи поиска кратчайшего пути. Декомпозиция задач оптимизации.</p> <p>Характеристики сетей. Различные модели роста графов.</p> <p>Генерация графов с заданными характеристиками.</p> <p>Построение репрезентативных выборок на графах.</p>	18	6	-	-	-		6	12	-	

Модуль 5. Визуализация графов. Построение прямолинейных изображений планарных графов. Методы визуализации, основанные на физических аналогиях. Force-directed graph drawing. Метод поуровневого изображения ориентированных графов. Визуализация больших графов. Статические и интерактивные методы. Кластеризация графов, поиск сообществ. Стандарты анализа социальных сетей.	18	6	-	-	-		6	12	-		
<b>7. Промежуточная аттестация – экзамен</b>	4						4				
<b>Итого</b>	108						40				

## 10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ УЧАЩИХСЯ

Самостоятельная работа учащихся состоит в изучении лекционного материала, учебно-методической литературы, подготовки к текущему контролю и промежуточной аттестации.

### Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Самостоятельные исследовательские работы студентов знакомят их с особенностями реализации и использования методов и технологий, описываемых в курсе. Примеры тем работ:

1. Алгоритмы сгущения графа
2. Проверка согласия со степенным распределением
3. Сложность алгоритма Дейкстры
4. Описание и теоретические свойства алгоритма A\*
5. Двухнаправленные алгоритмы поиска кратчайшего пути
6. Последовательное и параллельное вычисление остовного дерева
7. Поиск сообществ (community detection)
8. Методы выборки репрезентативного подграфа
9. Наделение метрического пространства свойствами ЛВП
10. Нормализация метрик
11. Нормировка метрик
12. Способы оценки по выборке различных инвариантов метрических пространств
13. Связь между теорией метрик и теорией потоков, использование алгоритмов из теории потоков для метрик
14. Обучение метрик с учетом цели
15. Обучение метрик для реконструкции исходных описаний
16. Точный поиск ближайших соседей (NNS)
17. Приближенный поиск ближайших соседей (ANNS)
18. Алгоритмы реализации метрик
19. Коррекция локальных возмущений в конечных метриках
20. Обоснование и оценка качества метрических алгоритмов

#### Модуль 1 «Задачи анализа данных, роль понятий сходства и различия»

1. Воронин Ю.А. Начала теории сходства. Новосибирск: Наука, СО, 1991.
2. Воронин Ю.А. Теория классификации и её приложения. Новосибирск: Наука, СО, 1985.

3. Дидэ Э. Методы анализа данных. Пер. с фр. М.: Финансы и статистика, 1985.

### **Модуль 2 «Характеристики метрик, визуализация метрических пространств»**

1. Воронин Ю.А. Начала теории сходства. Новосибирск: Наука, СО, 1991.
2. Деза Е., Деза М. Энциклопедический словарь расстояний. Пер. с англ. М.: Наука, 2008.
3. Кочетков Д.В. О функциях близости. Сообщения по прикл. матем. ВЦ АН СССР. 1978.
4. Шрейдер Ю.А. Что такое расстояние? М.: Физматгиз. 1963.

### **Модуль 3 «Представление метрической информации, кластеризация в метрических пространствах»**

1. Скворцов В.А. Примеры метрических пространств. М.: МЦНМО, 2002.
2. Майсурадзе А.И. О поиске оптимального коллективного слагаемого для набора метрических конфигураций // Искусственный интеллект (ИИ). 2006. №2. С.183-187.
3. Майсурадзе А.И. О свойствах оптимальных точечных конфигураций для одного семейства функционалов сравнения метрических конфигураций // Ж. вычисл. матем. и матем.
4. Буземан Г. Геометрия геодезических. М.: Физматгиз. 1962.
5. Basalaj W. Proximity Visualization of Abstract Data. Dissertation work. 2001.

### **Модуль 4 «Графы и сети, их характеристики»**

1. Newman M. Networks: an introduction. – OUP Oxford, 2010.
2. Batagelj V. et al. Understanding large temporal networks and spatial networks: Exploration, pattern searching, visualization and network evolution. – John Wiley & Sons, 2014.
3. Samatova N. F. et al. (ed.). Practical Graph Mining with R. – CRC Press, 2013.

### **Модуль 5 «Визуализация сетей, кластеризация графов»**

1. Battista D. et al. Graph drawing: algorithms for the visualization of graphs. – 1999.
2. Basalaj W. Proximity Visualization of Abstract Data. 2001.
3. Vathy-Fogarassy Á., Abonyi J. Graph-Based Clustering and Data Visualization Algorithms. – London : Springer, 2013.
4. Tamassia R. (ed.). Handbook of graph drawing and visualization. – CRC press, 2013.

## **11. РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

### **Основная литература**

1. Battista D. et al. Graph drawing: algorithms for the visualization of graphs. – 1999.
2. Воронин Ю.А. Начала теории сходства. Новосибирск: Наука. СО. 1991.
3. Деза М., Лоран М. Геометрия разрезов и метрик. М.: МЦНМО. 2001.

4. Basalaj W. Proximity Visualization of Abstract Data. 2001.
5. Newman M. Networks: an introduction. – OUP Oxford, 2010.
6. Vathy-Fogarassy Á., Abonyi J. Graph-Based Clustering and Data Visualization Algorithms. – London : Springer, 2013.

#### **Дополнительная литература**

1. Batagelj V. et al. Understanding large temporal networks and spatial networks: Exploration, pattern searching, visualization and network evolution. – John Wiley & Sons, 2014.
2. Samatova N. F. et al. (ed.). Practical Graph Mining with R. – CRC Press, 2013.
3. Fruchterman T. M. J., Reingold E. M. Graph drawing by force-directed placement //Software: Practice and experience. – 1991. – Т. 21. – №. 11. – С. 1129-1164.
4. Tamassia R. (ed.). Handbook of graph drawing and visualization. – CRC press, 2013.
5. Šubelj L., Bajec M. Unfolding communities in large complex networks: Combining defensive and offensive label propagation for core extraction //Physical Review E. – 2011. – Т. 83. – №. 3. – С. 036103.
6. Raghavan U. N., Albert R., Kumara S. Near linear time algorithm to detect community structures in large-scale networks //Physical Review E. – 2007. – Т. 76. – №. 3. – С. 036106.
7. Hu Y., Shi L. Visualizing large graphs //Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics. – 2015. – Т. 7. – №. 2. – С. 115-136.
8. Leskovec J., Faloutsos C. Sampling from large graphs //Proceedings of the 12th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining. – ACM, 2006. – С. 631-636.
9. Буземан Г. Геометрия геодезических. М.: Физматгиз. 1962.
10. Воронин Ю.А. Теория классификации и её приложения. Новосибирск: Наука. СО. 1985.
11. Деза М., Лоран М. Геометрия разрезов и метрик. М.: МЦНМО. 2001.
12. Дидэ Э. Методы анализа данных. М.: Финансы и статистика. 1985.
13. Дэйвисон М. Многомерное шкалирование. М.: Финансы и статистика. 1988.
14. Кочетков Д.В. О функциях близости. ВЦ АН СССР. 1978.
15. Скворцов В.А. Примеры метрических пространств. М.: МЦНМО. 2002.
16. Шрейдер Ю.А. Что такое расстояние? М.: Физматгиз. 1963.
17. Yianilos P.N. Normalized Forms for Two Common Metrics. Princeton: NEC Re-search Institute. 2002.

#### **ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ»**

1. Портал по анализу сетей <http://snap.stanford.edu/>
2. Сообщество специалистов по анализу социальных сетей <http://www.insna.org/>
3. <http://www.machinelearning.ru>
4. <http://elibrary.ru>

5. <http://www.scopus.com>

#### **ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

1. Программное обеспечение для подготовки презентаций MS PowerPoint
2. Программное обеспечение для просмотра pdf-документов Adobe Reader
3. Издательская система LaTeX.
4. Средство реализации программного стенда по выбору студента

#### **Материально-техническая база**

Для преподавания дисциплины требуется класс, оборудованной маркерной или меловой доской и проектором.

Для самостоятельной работы по разработке программного стенда и проведения экспериментов требуется компьютерный класс (машинный зал).

#### **12. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ**

Русский

#### **13. РАЗРАБОТЧИК ПРОГРАММЫ, ПРЕПОДАВАТЕЛИ**

Доцент, к.ф.-м.н. **Майсурадзе А. И.**

**ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«Анализ графов, сетей, функций сходства»**

Средства для оценивания планируемых результатов обучения, критерии и показатели оценивания приведены ниже.

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	КРИТЕРИИ и ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю) <i>(критерии и показатели берутся из соответствующих карт компетенций, при этом пользуются либо традиционной системой оценивания, либо БРС)</i>					ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА
	1	2	3	4	5	
	<b>Неудовлетворительно</b>	<b>Неудовлетворительно</b>	<b>Удовлетворительно</b>	<b>Хорошо</b>	<b>Отлично</b>	
УМЕТЬ: анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов У1 (УК-1)	Отсутствие умений	Частично освоенное умение анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов	В целом успешно, но не систематически осуществляемые анализ альтернативных вариантов решения исследовательских и практических задач и оценка потенциальных выигрышей/проигрышей реализации этих вариантов	В целом успешно, но содержащие отдельные пробелы анализ альтернативных вариантов решения исследовательских задач и оценка потенциальных выигрышей/проигрышей реализации этих вариантов	Сформированное умение анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов	доклады на научных семинарах
ВЛАДЕТЬ: навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при реше-	В целом успешное, но не систематическое применение навыков анализа методо-	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков	Успешное и систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих	доклады на научных семинарах

исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях В1 (УК-1)		нии исследовательских и практических задач	логических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач	анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач	при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	
ЗНАТЬ: современные математические методы, применяющиеся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий Код З1 (ОПК-1)	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современных математических методах, применяющихся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий	В целом сформированные, но неполные знания о современных математических методах, применяющихся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о современных математических методах, применяющихся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий	Сформированные систематические знания о современных математических методах, применяющихся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий	Устный экзамен
УМЕТЬ: применять современные методы постановки и анализа задач в области математики и информатики Код У1 (ОПК-1)	Отсутствие умений	Фрагментарные умения применять современные методы постановки и анализа задач в области математики и информатики	В целом успешное, но не систематическое умение применять современные методы постановки и анализа задач в области математики и информатики	Успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять современные методы постановки и анализа задач в области математики и информатики	Сформированное умение применять современные методы постановки и анализа задач в области математики и информатики	Устный экзамен

<p><b>ВЛАДЕТЬ:</b> навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики Код В1 (ОПК-1)</p>	<p>Отсутствие навыков</p>	<p>Фрагментарное владение навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики</p>	<p>В целом успешное, но не полное владение навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики</p>	<p>Успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики</p>	<p>Сформированное владение навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики</p>	<p>реферат</p>
<p><b>ЗНАТЬ:</b> современные алгоритмы компьютерной математики, математическую теорию, лежащую в их основе Код З1 (ПК-3)</p>	<p>Отсутствие знаний</p>	<p>Фрагментарные представления о современных алгоритмах компьютерной математики, о математической теории, лежащей в их основе</p>	<p>В целом сформированные, но неполные знания о современных алгоритмах компьютерной математики, о математической теории, лежащей в их основе</p>	<p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о современных алгоритмах компьютерной математики, о математической теории, лежащей в их основе</p>	<p>Сформированные систематические знания о современных алгоритмах компьютерной математики, о математической теории, лежащей в их основе</p>	<p>Устный экзамен</p>
<p><b>УМЕТЬ:</b> применять современные алгоритмы компьютерной математики, оперировать фактами математической теории, лежащей в их основе Код У1 (ПК-3)</p>	<p>Отсутствие умений</p>	<p>Фрагментарные умения применять современные алгоритмы компьютерной математики, оперировать фактами математической теории, лежащей в их основе</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое умение применять современные алгоритмы компьютерной математики, оперировать фактами математической теории, лежащей в их основе</p>	<p>Успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять современные алгоритмы компьютерной математики, оперировать фактами математической теории, лежащей в их основе</p>	<p>Сформированное умение применять современные алгоритмы компьютерной математики, оперировать фактами математической теории, лежащей в их основе</p>	<p>Отчет, реферат</p>

31 (СПК-9) ЗНАТЬ: классические и специальные модели представления и преобразования информации, основанные на попарном рассмотрении объектов, основные факты математической теории, лежащей в их основе	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о классических и специальных моделях представления и преобразования информации, основанных на попарном рассмотрении объектов, основные факты математической теории, лежащей в их основе	В целом сформированные, но неполные знания о классических и специальных моделях представления и преобразования информации, основанных на попарном рассмотрении объектов, основные факты математической теории, лежащей в их основе	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о классических и специальных моделях представления и преобразования информации, основанных на попарном рассмотрении объектов, основные факты математической теории, лежащей в их основе	Сформированные систематические знания о классических и специальных моделях представления и преобразования информации, основанных на попарном рассмотрении объектов, основные факты математической теории, лежащей в их основе	Устный экзамен
У1 (СПК-9) УМЕТЬ: применять классические и специальные модели данных и методы их анализа, основанные на попарном рассмотрении объектов, оперировать основными фактами математической теории, лежащей в их основе;	Отсутствие умений	Фрагментарные умения применять классические и специальные модели данных и методы их анализа, основанные на попарном рассмотрении объектов, оперировать основными фактами математической теории, лежащей в их основе;	В целом успешное, но не систематическое умение применять классические и специальные модели данных и методы их анализа, основанные на попарном рассмотрении объектов, оперировать основными фактами математической теории, лежащей в их основе;	Успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять классические и специальные модели данных и методы их анализа, основанные на попарном рассмотрении объектов, оперировать основными фактами математической теории, лежащей в их основе;	Сформированное умение применять классические и специальные модели данных и методы их анализа, основанные на попарном рассмотрении объектов, оперировать основными фактами математической теории, лежащей в их основе;	Отчет
В1 (СПК-9) ВЛАДЕТЬ: базовыми навыками выбора модели представления и преобра-	Отсутствие навыков	Фрагментарное владение навыками выбора модели представления и преобра-	В целом успешное, но не полное владение навыками выбора модели	Успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками	Сформированное владение навыками выбора модели представления и преобра-	реферат

ставления и преобразования информации, основанной на попарном рассмотрении объектов, с учетом основных фактов математической теории, лежащей в их основе.		зования информации, основанной на попарном рассмотрении объектов, с учетом основных фактов математической теории, лежащей в их основе.	представления и преобразования информации, основанной на попарном рассмотрении объектов, с учетом основных фактов математической теории, лежащей в их основе.	выбора модели представления и преобразования информации, основанной на попарном рассмотрении объектов, с учетом основных фактов математической теории, лежащей в их основе.	зования информации, основанной на попарном рассмотрении объектов, с учетом основных фактов математической теории, лежащей в их основе.	
---	--	--	---	---	--	--

### Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

#### Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

#### Особенности организации процесса обучения

Для эффективного освоения курса рекомендуется перед каждым занятием привести в порядок конспекты лекций. После каждого занятия рекомендуется найти и прочитать дополнительную литературу по теме лекции и прочитать свои конспекты.

#### Система контроля и оценивания

В начале семестра студенты выбирают тему самостоятельного исследования. Тема закрепляется за студентом после представления им «Плана исследования», содержащего список подобранной литературы. За каждую самостоятельную работу и сдаваемые материалы выставляются баллы:

Вид работы	Максимальное количество баллов
Тестирование программного стенда	3
Контрольная работа	3
Устная презентация	3
Реферат	3

Таким образом, за семестр студент может максимально набрать  $M=12$  баллов. В конце семестра баллы конвертируются в оценку  $O1$  следующим образом:

меньше  $M/2$  баллов –  $O1=2$ ;

больше или равно  $M/2$  баллов, но меньше  $2M/3$  –  $O1=3$ ;

больше или равно  $2M/3$  баллов, но меньше  $5M/6$  –  $O1=4$ ;

больше или равно  $5M/6$  баллов –  $O1=5$ .

На экзамене оценка  $O1$  является стартовой. Окончательная оценка определяется исходя из оценки устного ответа студента, при этом она не может быть меньше предварительной оценки и не может быть больше её более чем на 1 балл. Структура и график контрольных мероприятий приведены ниже в таблице.

### Структура и график контрольных мероприятий

Защита плана исследования на 3-й неделе
Тестирование программного стенда на 8-й неделе
Контрольная работа на 12-й неделе
Устная презентация на 15-й неделе
Реферат (в конце семестра)
Устный экзамен (в конце семестра)

Дополнительные сведения о системе контроля. Мониторинг успеваемости студентов проводится в течение семестра 5 раз: по итогам 1-3, 4-8, 9-12, 13-15, 16-18 учебных недель (18-я неделя зачетная).

При выставлении итоговой оценки используется шкала, приведенная в таблице:

Сумма баллов	Оценка
Менее 6	2
6 – менее 8	3
8 – менее 10	4
10 – 12	5