

УТВЕРЖДАЮ

Проректор

_____ С.Ю. Рошин

Одобрено на заседании Академического
совета Аспирантской школы по
компьютерным наукам

Согласовано

Академический директор Аспирантской
школы по компьютерным наукам

_____ А.В. Зароднюк

**Программа вступительного испытания по специальности основной образовательной
программы высшего образования – программы подготовки научных и научно-
педагогических кадров в аспирантуре
Компьютерные науки**

Научные специальности:

1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение

1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

1.2.3 Теоретическая информатика, кибернетика

1. Область применения и нормативные ссылки

Программа вступительного испытания сформирована на основе федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования по программам специалитета или магистратуры.

2. Структура вступительного испытания

Вступительное испытание основной образовательной программы высшего образования – программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Компьютерные науки состоит из двух частей: оценка индивидуальных достижений и собеседование (оценка знаний по направлению подготовки).

Вступительное испытание проводится на русском или английском языке (по желанию абитуриента). По предварительному согласованию с абитуриентом вступительное испытание может проводиться дистанционно с использованием информационных технологий.

В случае набора абитуриентами равного количества баллов (полупроходного балла), преимущество получает абитуриент, соответствующий перечисленным ниже критериям. Критерии представлены в порядке убывания значимости.

1. Более высокая, чем у других абитуриентов с полупроходным баллом, оценка за вступительное испытание по специальности.

2. Наличие опыта работы в исследовательском проекте по направлениям, релевантным исследованиям научного руководителя, существующим проектам лабораторий департамента, специфике направления обучения в аспирантуре.

3. Наличие опубликованных статей в международных рецензируемых научных журналах, индексируемых в Scopus или Web of Science, участие с докладами в конференциях уровня А* или А по рейтингу CORE (версия соответствующего года публикации).

2.1. Оценка индивидуальных достижений и исследовательского потенциала.

Структура портфолио

Оценка индивидуальных достижений и исследовательского потенциала основывается на представленных абитуриентом документах и беседе с абитуриентом. Абитуриент может (но не обязан) предоставить следующие документы:

1. Резюме (CV), включающее список публикаций, сведения об участии в конференциях, школах, исследовательских проектах, научных грантах, опыте работы, знании языков и т.д. Резюме может быть составлено на русском или английском языке (по желанию абитуриента).

2. Описание исследовательского проекта (не более четырех страниц), который поступающий предполагает реализовать во время обучения в аспирантуре, на русском или английском языке. Описание проекта должно содержать краткое введение в область предполагаемого исследования; описание задач, которыми поступающий предполагает заниматься в аспирантуре; обоснование их теоретической или практической значимости; краткое описание существующих подходов к решению этих задач и подходов, которые собирается развивать поступающий.

3. Копия документа об образовании с перечнем пройденных дисциплин и оценок по этим дисциплинам.

4. Рекомендательное письмо от сотрудника НИУ ВШЭ, в котором отражено его согласие выступить научным руководителем абитуриента в аспирантуре.

5. Рекомендательное письмо от руководителя одной из научных лабораторий НИУ ВШЭ, в котором выражен интерес лаборатории к предполагаемому диссертационному исследованию абитуриента и готовность сотрудничать с абитуриентом в случае его поступления в аспирантуру.

6. Научные публикации абитуриента (в виде файлов в формате PDF).

7. Текст магистерской диссертации (в виде файла в формате PDF).

8. Документы, подтверждающие участие абитуриента в выполнении научно-исследовательских работ (отчет по НИР, отзыв руководителя НИР о работе абитуриента).

9. Дипломы и сертификаты, подтверждающие академические достижения абитуриента (победы в студенческих олимпиадах, конкурсах студенческих работ, получение индивидуальных академических стипендий и грантов на обучение).

2.2. Критерии оценки портфолио

Максимальная возможная оценка составляет 50 баллов.

Оценка менее 15 баллов считается неудовлетворительной. Абитуриент, получивший неудовлетворительную оценку за портфолио выбывает из конкурса.

Оценка формируется из следующих частей:

Критерий оценки	Количество баллов
Степень проработанности исследовательского проекта, который поступающий предполагает реализовать во время обучения в аспирантуре; его соответствие выбранному направлению подготовки и тематике научных исследований, осуществляемых в соответствующем подразделении НИУ ВШЭ; наличие у абитуриента задела по проекту.	до 20 баллов
Наличие рекомендательного письма от сотрудника НИУ ВШЭ, в котором отражено его согласие выступить научным руководителем абитуриента в аспирантуре, подтверждающего серьезные намерения абитуриента.	до 5 баллов
Наличие рекомендательного письма от руководителя одной из научных лабораторий НИУ ВШЭ, подтверждающего интерес лаборатории к предполагаемому диссертационному исследованию абитуриента.	до 5 баллов
Уровень представленных публикаций и конференций, их соответствие предполагаемой тематике исследований, личный вклад абитуриента (в случае соавторства).	до 15 баллов
Наличие опыта участия абитуриента в научно-исследовательских проектах, подтвержденный отзывами руководителей проектов.	до 5 баллов

2.3. Собеседование (оценка знаний по направлению подготовки)

Оценка знаний по направлению подготовки проводится в устной форме с обязательным оформлением ответов на вопросы билета в письменном виде. Абитуриент получает два вопроса, соответствующих программе экзамена (см. пункт 3), каждый из которых может быть максимально оценен в 25 баллов. Вопросы программы разделены на блоки, некоторые из которых отнесены к общей части, а другие — к специализированным. Абитуриент получает первый вопрос билета из общей части, а второй — из выбранного им специализированного блока, если таких блоков несколько. Абитуриенту предоставляется 40 минут на подготовку, после чего абитуриент отвечает на вопросы. Абитуриенту могут быть заданы дополнительные вопросы или задачи в рамках программы экзамена.

Максимальная возможная оценка за собеседование составляет 50 баллов. **Оценка менее 15 баллов за собеседование считается неудовлетворительной. Абитуриент, получивший неудовлетворительную оценку за собеседование выбывает из конкурса.**

Критерии оценки каждого вопроса из билета	Количество баллов
Ответ полный, без замечаний, продемонстрированы исключительные знания по вопросу	25
Ответ полный, с незначительными замечаниями, продемонстрированы отличные знания по вопросу	20-24
Ответ полный, имеются замечания, продемонстрированы хорошие знания по вопросу	15-19
Ответ неполный, имеются замечания, продемонстрированы удовлетворительные знания по вопросу	10-14
Ответ неполный, имеются существенные замечания	5-9
Ответ не дан	0-4

3. Содержание программы оценки знаний по направлению подготовки

3.1 Научная специальность 1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение

Общая часть

1. Математический анализ и методы оптимизации

Задачи условной и безусловной оптимизации. Типы экстремумов функций многих переменных, условия локального экстремума, метод множителей Лагранжа, их интерпретация. Седловые точки. Функция Лагранжа. Теорема Куна – Таккера и ее геометрическая интерпретация.

Формулировка задачи линейного программирования (ЛП). Симплекс-метод: понятия опорного плана и базиса. Вырожденность и невырожденность задач ЛП. Двойственная задача ЛП, связь прямой и двойственной задачи.

Обыкновенные дифференциальные уравнения: теорема существования и единственности, линейные уравнения первого и второго порядков, однородные неоднородные уравнения, стационарные точки и устойчивость по Ляпунову.

2. Алгебра

Линейное пространство. Линейная зависимость. Базис. Системы линейных уравнений (СЛУ). Критерий совместности СЛУ. Обратная и псевдообратная матрицы.

Линейные операторы. Собственные векторы и собственные значения квадратной матрицы и симметричной квадратной матрицы. Диагонализация матрицы линейного оператора. Сингулярные числа прямоугольных матриц и их связь с собственными числами ассоциированных матриц. Матричные разложения (сингулярное разложение, QR-разложение, LU-разложение, разложение Холецкого).

Скалярное произведение. Ортогональность. Процесс ортогонализации Грама – Шмидта. Билинейные и квадратичные формы. Знакоопределенные и полуопределенные квадратичные формы и их свойства.

3. Основы теории вероятностей и математической статистики

Вероятность, вероятностное пространство, случайные величины. Функция распределения. Числовые характеристики распределений. Основные законы распределения дискретных и непрерывных случайных величин. Функции плотности распределения, свойства одномерной и многомерной нормальной случайной величины.

Вероятностные неравенства: неравенства Маркова, Чернова и Чебышёва. Случайные последовательности: сходимость по вероятности, почти наверное и по распределению. Закон больших чисел в форме Чебышёва и Хинчина. Центральные предельные теоремы (для нормального и Пуассоновского распределения).

Генеральная совокупность, выборка. Выборочные оценки и статистики, их свойства: несмещенность, состоятельность, эффективность. Неравенство Рао-Крамера. Примеры выборочных статистик и оценок.

Интервальные оценки параметров, доверительные интервалы. Понятие статистической гипотезы и статистического критерия. Конструкция статистического критерия (гипотеза, альтернатива, тестовая статистика). Примеры статистических тестов и доверительных интервалов.

4. Основы теории графов

Бинарные отношения и графы. Способы представления графов. Подграфы. Маршруты, цепи, циклы. Связность. Компоненты связности в ориентированных и неориентированных графах. Двудольные графы.

Эйлеровы пути и циклы. Алгоритм построения эйлеровых циклов. Оценка сложности алгоритма. Гамильтоновы пути и циклы. Сложность задачи проверки существования гамильтонова цикла.

Деревья. Связанность любых двух вершин дерева единственным простым путем. Способы представления деревьев. Сбалансированные двоичные деревья.

Задачи и алгоритмы на графах: обходы графа, поиск кратчайших путей, построение минимального остовного дерева.

Потоки в сетях: нахождение максимального потока и минимального разреза. Теорема Форда – Фалкерсона. Транспортная задача.

Специализированный блок вопросов

Анализ данных и основы машинного обучения

Задача бинарной и многоклассовой классификации. Простейшие методы классификации: решающие деревья, k ближайших соседей, линейные модели (метод опорных векторов, логистическая регрессия). Оценка качества обучения: точность, полнота, F-мера. Популярные функции потерь. Явление переобучения, разделение на обучающую и валидационную выборку, методы регуляризации.

Задача регрессии. Линейные модели: линейная регрессия, методы регуляризации (LASSO-, Ridge- регрессия, ElasticNet). Целевые метрики и популярные функции потерь. Явление переобучения, разделение на обучающую и валидационную выборку, методы регуляризации.

Ансамблевые модели в задачах регрессии и классификации. Бэггинг, случайный лес, бустинг (градиентный бустинг, AdaBoost).

Явление переобучения. Обучающая и валидационная ошибка. Регуляризация алгоритмов классификации и восстановления регрессии.

Понижение размерности данных: анализ главных компонент. Кластеризация: метод k средних, иерархическая кластеризация, гауссовские смеси. Оценка смеси распределений с помощью EM-алгоритма.

Глубокие нейронные сети: идея и конструкция, типы слоёв. Обучение глубоких нейронных сетей: градиентные методы, гиперпараметры, выбор шага. Применение глубоких нейросетей в решении задач регрессии и классификации, основные функции потерь и целевые метрики. Примеры задач и решений.

Задачи и методы анализа текстовых данных. Представления текста, слов, конструкция признаков текста. Тематическая категоризация, кластеризация документов, анализ мнений, информационный поиск, машинный перевод.

Задачи и методы компьютерного зрения: классификация изображений, сегментация, выделение объектов. Представление изображений и видео. Свёрточные слои. Основные решения, основанные на глубоких свёрточных нейросетях.

Байесовские методы для регрессии и классификации. Наивный байесовский классификатор. Байесовская линейная регрессия (maximum a posteriori estimate, MAP). Гауссовские процессы. Гауссовские смеси, примеры и свойства ковариационных функций.

Список рекомендуемой литературы:

1. Алескеров Ф.Т., Хабина Э.Л., Шварц Д.А. Бинарные отношения, графы и коллективные решения. — М.: Физматлит, 2013.
2. Арнольд В.И., Обыкновенные дифференциальные уравнения. — М.: Наука, 1984.
3. Ахо А., Ульман Дж. Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции. Т.1. Синтаксический анализ. — М.: Мир, 1978.
4. Ахо А., Ульман Дж. Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции. Т.2. Компиляция. — М.: Мир, 1978.
5. Басакер Р., Саати Т. Конечные графы и сети. — М.: Наука, 1974.
6. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории вероятностей. — М.: Радио и связь, 1983.
7. Воронцов К.В. Математические методы обучения по прецедентам (теория обучения машин). — <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/6/6d/Voron-ML-1.pdf>
8. Гарсиа-Молина Г., Ульман Дж., Уидом Дж. Системы баз данных. Полный курс. — Вильямс, 2003.
9. Гельфанд И.М. Лекции по линейной алгебре. — М.: Наука 1971.
10. Гладкий А.В. Формальные грамматики и языки. — М.: Наука, 1973.
11. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. — М.: Мир, 1982.
12. Дасгупта С., Пападимитриу Х., Вазирани У. Алгоритмы. — М.: МНЦМО, 2014.
13. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных. — 8-е изд. — М.: Вильямс, 2005.
14. Кормен Т.Х., Лейзерсон Ч.И., Ривест Р.Л., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ. — 2-е издание: Пер. с англ. — М.: Вильямс, 2007.
15. Кузнецов О.П. Дискретная математика для инженера. — М.: Лань, 2004.
16. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. — М.: Логос, 2002.
17. Литвак Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений. — М.: Патент, 1996.
18. Мендельсон Э. Введение в математическую логику. — М.: Наука, 1971.
19. Миркин Б.Г. Проблема группового выбора. — М.: Наука, 1974.
20. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. — 2-е изд.: Пер. с англ.
21. Рудин У. Основы математического анализа. — М.: Мир, 1976.
22. Оре О. Графы и их применение. — М.: Мир, 1965; — Новокузнецк: Изд. Отдел Новокузнецкого физико-математического ин-та, 2000.
23. Роберт У. Себеста. Основные концепции языков программирования. — 5-е изд. — М.: Вильямс, 2001.
24. Успенский В.А., Верещагин Н.К., Плиско В.Е. Вводный курс математической логики. — 2-е изд. — М.: Физматлит, 2004.
25. Хопкрофт Дж., Мотвани Р., Ульман Дж. Введение в теорию автоматов, языков и вычислений. — 2-е изд.: Пер. с англ. — М.: Вильямс, 2008.
26. Шведов А.С. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебное пособие для студентов экономических специальностей. — М.: Изд-во ВШЭ, 1995.
27. Arora S., Barak B. Computational Complexity: A Modern Approach. — Cambridge University Press, 2009.
28. Bishop C. Pattern Recognition and Machine Learning. — Springer, 2006.

29. Jurafsky D., Martin, J.H. Speech and Language Processing. — Prentice Hall, 2008.
30. Flach P. Machine Learning: The Art and Science of Algorithms that Make Sense of Data. — Cambridge University Press, 2012.
31. Kleinberg J., Tardos E. Algorithm Design. — Addison-Wesley, 2005.
32. Moore C., Mertens S. The Nature of Computation. — Oxford University Press, 2011.
33. Sipser M. Introduction to the Theory of Computation. — Boston, Mass.: Thomson Course Technology, 2006
34. Гарсиа-Молина Г., Ульман Дж., Уидом Дж. Системы баз данных. Полный курс. — Вильямс, 2003.
35. Гельфанд И.М. Лекции по линейной алгебре. — М: Наука 1971.
36. Гладкий А.В. Формальные грамматики и языки. — М.: Наука, 1973.
37. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. — М.: Мир, 1982.
38. Дасгупта С., Пападимитриу Х., Вазирани У. Алгоритмы. — М.: МНЦМО, 2014.
39. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных. — 8-е изд. — М.: Вильямс, 2005.
40. Кормен Т.Х., Лейзерсон Ч.И., Ривест Р.Л., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ. — 2-е издание: Пер. с англ. — М.: Вильямс, 2007.
41. 15. Крупский В.Н. Введение в сложность вычислений. — М.: Факториал Пресс, 2006.
42. Кузнецов О.П. Дискретная математика для инженера. — М.: Лань, 2004.
42. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. — М.: Логос, 2002.
44. Литвак Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений. — М.: Патент, 1996. 19.
- Мендельсон Э. Введение в математическую логику. — М.: Наука, 1971.
45. Миркин Б.Г. Проблема группового выбора. — М.: Наука, 1974.
46. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. — 2-е изд.: Пер. с англ.
47. Рудин У. Основы математического анализа. — М.: Мир, 1976.
48. Оре О. Графы и их применение. — М.: Мир, 1965; — Новокузнецк: Изд. Отдел Новокузнецкого физико-математического ин-та, 2000.

3.2 Научная специальность 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Общая часть

1. Дифференциальные уравнения

Обыкновенные дифференциальные уравнения: однородные и неоднородные уравнения, фазовое пространство, аналитическое решение уравнений, уравнения первого порядка. Уравнения с разделяющимися переменными. Уравнения Бернулли, Рикатти. Уравнения в полных дифференциалах.

Линейные уравнения первого порядка. Эквивалентность системы уравнений первого порядка и уравнения n -го порядка. Линейные уравнения с постоянными коэффициентами, представление решения. Теорема существования и единственности решения задачи Коши для уравнения первого порядка.

Решение, устойчивое по Ляпунову. Асимптотическая устойчивость. Критерий устойчивости (функция Ляпунова). Теорема Четаева о неустойчивости. Критерий устойчивости для линейных систем с постоянными коэффициентами, уравнение Ляпунова.

2. Алгебра

Линейное пространство. Линейная зависимость. Базис. Системы линейных уравнений (СЛУ). Критерий совместности СЛУ. Обратная и псевдообратная матрицы.

Линейные операторы. Собственные векторы и собственные значения квадратной матрицы и симметричной квадратной матрицы. Диагонализация матрицы линейного оператора. Сингулярные числа прямоугольных матриц и их связь с собственными числами ассоциированных матриц. Матричные разложения (сингулярное разложение, QR-разложение, LU-разложение, разложение Холецкого).

Скалярное произведение. Ортогональность. Процесс ортогонализации Грама – Шмидта. Билинейные и квадратичные формы. Знакоопределенные и полуопределенные квадратичные формы и их свойства.

3. Основы теории вероятностей и математической статистики

Вероятность, вероятностное пространство, случайные величины. Функция распределения. Числовые характеристики распределений. Основные законы распределения дискретных и непрерывных случайных величин. Функции плотности распределения, свойства одномерной и многомерной нормальной случайной величины.

Вероятностные неравенства: неравенства Маркова, Чернова и Чебышёва. Случайные последовательности: сходимости по вероятности, почти наверное и по распределению. Закон больших чисел в форме Чебышёва и Хинчина. Центральные предельные теоремы (для нормального и Пуассоновского распределения).

Генеральная совокупность, выборка. Выборочные оценки и статистики, их свойства: несмещенность, состоятельность, эффективность. Неравенство Рао-Крамера. Примеры выборочных статистик и оценок.

Интервальные оценки параметров, доверительные интервалы. Понятие статистической гипотезы и статистического критерия. Конструкция статистического критерия (гипотеза, альтернатива, тестовая статистика). Примеры статистических тестов и доверительных интервалов.

4. Основы теории графов

Бинарные отношения и графы. Способы представления графов. Подграфы. Маршруты, цепи, циклы. Связность. Компоненты связности в ориентированных и неориентированных графах. Двудольные графы.

Эйлеровы пути и циклы. Алгоритм построения эйлеровых циклов. Оценка сложности алгоритма. Гамильтоновы пути и циклы. Сложность задачи проверки существования гамильтонова цикла.

Деревья. Связанность любых двух вершин дерева единственным простым путем. Способы представления деревьев. Сбалансированные двоичные деревья.

Задачи и алгоритмы на графах: обходы графа, поиск кратчайших путей, построение минимального остовного дерева.

Потоки в сетях: нахождение максимального потока и минимального разреза. Теорема Форда – Фалкерсона. Транспортная задача.

Специализированный блок вопросов

Численные методы. Часть 1

Задача интерполяции. Интерполяционный многочлен Лагранжа, связь с решением СЛАУ и матрицей Вандермонда. Многочлены Чебышева, их свойства. Построение оптимальной интерполяционной сетки. Константа Лебега, оценка константы Лебега для равномерной и чебышёвской сеток.

Численные методы интегрирования: квадратурные формулы, теорема об оценке погрешности численного интегрирования. Квадратурные формулы, основанные на интерполяции многочленом Ньютона: простые и составные формулы. Квадратурные формулы Гаусса. Устойчивость квадратурных формул к погрешности в узлах. Порядок аппроксимации и порядок

точности квадратурных формул. Метод Рунге оценки погрешности интегрирования.

Численное решение нелинейных уравнений. Метод бисекции. Метод простой итерации и его сходимость. Метод Ньютона и метод секущих, критерии сходимости. Многомерное обобщение метода Ньютона (метод Ньютона Рафсона). Оценки погрешности.

Численное дифференцирование. Численное решение задачи Коши для дифференциальных уравнений. Аппроксимация разностной схемой, устойчивость и сходимость. Теорема Лакса. Явные и неявные схемы. Многоэтапные методы. Конструкция методов Рунге-Кутты и Адамса.

Краевая задача. Представление решения с помощью функции Грина. Численные методы решения: метод стрельбы, метод конечных разностей, метод прогонки.

Численные методы. Часть 2

Численные методы линейной алгебры. Прямые методы решения СЛАУ: LU-разложение, разложение Холецкого. Вычисление определителя матрицы. Вычисление обратной матрицы. Число обусловленности матрицы и связь с численной устойчивостью решения линейных систем. Улучшение устойчивости LU-разложения. Вычислительная сложность прямых методов. Метод прогонки.

Число обусловленности матрицы и связь с численной устойчивостью решения линейных систем. Предобуславливание линейных систем. Итерационные методы Якоби и Зейделя, критерии сходимости и оценка ошибки.

Итерационные методы решения СЛАУ. Метод простой итерации. Выбор шага в методе простой итерации (константный и с минимизацией невязки). Метод минимальных невязок, метод сопряженных градиентов. Число обусловленности матрицы и связь с численной устойчивостью решения линейных систем.

Численные методы для поиска собственных значений и собственных векторов. Степенной метод. Метод Крылова. Разложение Шура, QR-алгоритм.

Задача наилучшего приближения в гильбертовом пространстве. Эквивалентность проекции и наилучшего приближения элемента элементом подпространства. Задача наилучшего приближения элементом из конечномерного пространства, матрица Грама. Метод наименьших квадратов. Ортогональные системы функций: QR-разложение для конечномерного случая, многочлены Лежандра, тригонометрическая система функций и ряды Фурье

Список рекомендуемой литературы:

1. Алескеров Ф.Т., Хабина Э.Л., Шварц Д.А. Бинарные отношения, графы и коллективные решения. — М.: Физматлит, 2013.
2. Арнольд В.И., Обыкновенные дифференциальные уравнения. — М.: Наука, 1984.
3. Ахо А., Ульман Дж. Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции. Т.1. Синтаксический анализ. — М.: Мир, 1978. 4. Ахо А., Ульман Дж. Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции. Т.2. Компиляция. — М.: Мир, 1978.
5. Басакер Р., Саати Т. Конечные графы и сети. — М.: Наука, 1974.
6. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории вероятностей. — М: Радио и связь, 1983.
7. Воронцов К.В. Математические методы обучения по прецедентам (теория обучения машин). — <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/6/6d/Voron-ML-1.pdf>
8. Гарсия-Молина Г., Ульман Дж., Уидом Дж. Системы баз данных. Полный курс. — Вильямс, 2003.
9. Гельфанд И.М. Лекции по линейной алгебре. — М: Наука 1971.
10. Гладкий А.В. Формальные грамматики и языки. — М.: Наука, 1973.
11. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. — М.: Мир,

1982.

12. Дасгупта С., Пападимитриу Х., Вазирани У. Алгоритмы. — М.: МНЦМО, 2014.
13. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных. — 8-е изд. — М.: Вильямс, 2005.
14. Кормен Т.Х., Лейзерсон Ч.И., Ривест Р.Л., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ. — 2-е издание: Пер. с англ. — М.: Вильямс, 2007.
15. Кузнецов О.П. Дискретная математика для инженера. — М.: Лань, 2004.
16. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. — М.: Логос, 2002.
17. Литвак Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений. — М.: Патент, 1996.
18. Мендельсон Э. Введение в математическую логику. — М.: Наука, 1971.
19. Миркин Б.Г. Проблема группового выбора. — М.: Наука, 1974.
20. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. — 2-е изд.: Пер. с англ.
21. Рудин У. Основы математического анализа. — М.: Мир, 1976.
22. Оре О. Графы и их применение. — М.: Мир, 1965; — Новокузнецк: Изд. Отдел Новокузнецкого физико-математического ин-та, 2000.
23. Роберт У. Себеста. Основные концепции языков программирования. — 5-е изд. — М.: Вильямс, 2001.
24. Успенский В.А., Верещагин Н.К., Плиско В.Е. Вводный курс математической логики. — 2-е изд. — М.: Физматлит, 2004.
25. Хопкрофт Дж., Мотвани Р., Ульман Дж. Введение в теорию автоматов, языков и вычислений. — 2-е изд.: Пер. с англ. — М.: Вильямс, 2008.
26. Шведов А.С. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебное пособие для студентов экономических специальностей. — М.: Изд-во ВШЭ, 1995.
27. Arora S., Barak B. Computational Complexity: A Modern Approach. — Cambridge University Press, 2009.
28. Bishop C. Pattern Recognition and Machine Learning. — Springer, 2006.
29. Jurafsky D., Martin, J.H. Speech and Language Processing. — Prentice Hall, 2008.
30. Flach P. Machine Learning: The Art and Science of Algorithms that Make Sense of Data. — Cambridge University Press, 2012.
31. Kleinberg J., Tardos E. Algorithm Design. — Addison-Wesley, 2005.
32. Moore C., Mertens S. The Nature of Computation. — Oxford University Press, 2011.
33. Sipser M. Introduction to the Theory of Computation. — Boston, Mass.: Thomson Course Technology, 2006
34. Гарсиа-Молина Г., Ульман Дж., Уидом Дж. Системы баз данных. Полный курс. — Вильямс, 2003.
35. Гельфанд И.М. Лекции по линейной алгебре. — М.: Наука 1971.
36. Гладкий А.В. Формальные грамматики и языки. — М.: Наука, 1973.
37. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. — М.: Мир, 1982.
38. Дасгупта С., Пападимитриу Х., Вазирани У. Алгоритмы. — М.: МНЦМО, 2014.
39. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных. — 8-е изд. — М.: Вильямс, 2005.
40. Кормен Т.Х., Лейзерсон Ч.И., Ривест Р.Л., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ. — 2-е издание: Пер. с англ. — М.: Вильямс, 2007.
41. Крупский В.Н. Введение в сложность вычислений. — М.: Факториал Пресс, 2006.
42. Кузнецов О.П. Дискретная математика для инженера. — М.: Лань, 2004.
43. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. — М.: Логос, 2002.
44. Литвак Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений. — М.: Патент, 1996.
45. Мендельсон Э. Введение в математическую логику. — М.: Наука, 1971.

44. Миркин Б.Г. Проблема группового выбора. — М.: Наука, 1974.
45. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. — 2-е изд.: Пер. с англ.
46. Рудин У. Основы математического анализа. — М.: Мир, 1976.
47. Оре О. Графы и их применение. — М.: Мир, 1965; — Новокузнецк: Изд. Отдел Новокузнецкого физико-математического ин-та, 2000.
48. Н.С. Бахвалов. Численные методы. Наука, 1975.
49. Е. Чижонков. Численные методы, М. МГУ, 2006.
50. Е.Е. Тыртышников. Методы численного анализа, М. 2006.

3.3 Научная специальность 1.2.3 Теоретическая информатика, кибернетика

Общая часть

1. Математический анализ и методы оптимизации

Задачи условной и безусловной оптимизации. Типы экстремумов функций многих переменных, условия локального экстремума, метод множителей Лагранжа, их интерпретация. Седловые точки. Функция Лагранжа. Теорема Куна – Таккера и ее геометрическая интерпретация.

Формулировка задачи линейного программирования (ЛП). Симплекс-метод: понятия опорного плана и базиса. Вырожденность и невырожденность задач ЛП. Двойственная задача ЛП, связь прямой и двойственной задачи.

Обыкновенные дифференциальные уравнения: теорема существования и единственности, линейные уравнения первого и второго порядков, однородные неоднородные уравнения, стационарные точки и устойчивость по Ляпунову.

2. Алгебра

Линейное пространство. Линейная зависимость. Базис. Системы линейных уравнений (СЛУ). Критерий совместности СЛУ. Обратная и псевдообратная матрицы.

Линейные операторы. Собственные векторы и собственные значения квадратной матрицы и симметричной квадратной матрицы. Диагонализация матрицы линейного оператора. Сингулярные числа прямоугольных матриц и их связь с собственными числами ассоциированных матриц. Матричные разложения (сингулярное разложение, QR-разложение, LU-разложение, разложение Холецкого).

Скалярное произведение. Ортогональность. Процесс ортогонализации Грама – Шмидта. Билинейные и квадратичные формы. Знакоопределенные и полуопределенные квадратичные формы и их свойства.

Полугруппы и моноиды, группы. Циклические группы, теорема Лагранжа. Кольца, поля. Идеалы. Примеры. Конструкция конечных полей.

3. Основы теории вероятностей и математической статистики

Вероятность, вероятностное пространство, случайные величины. Функция распределения. Числовые характеристики распределений. Основные законы распределения дискретных и непрерывных случайных величин. Функции плотности распределения, свойства одномерной и многомерной нормальной случайной величины.

Вероятностные неравенства: неравенства Маркова, Чернова и Чебышёва. Случайные последовательности: сходимости по вероятности, почти наверное и по распределению. Закон больших чисел в форме Чебышёва и Хинчина. Центральные предельные теоремы (для нормального и Пуассоновского распределения).

4. Основы теории множеств и математической логики

Основные понятия теории множеств. Операции над множествами. Счетные множества.

Кардинальные числа. Определение и свойства отношений. Замыкание отношений относительно различных свойств. Отношение эквивалентности. Классы эквивалентности.

Отношения частичного и полного порядка. Полурешетки и решетки как частично упорядоченные множества.

Синтаксис и семантика логики высказываний. Понятия выполнимости, общезначимости и логического следствия. Дизъюнктивные и конъюнктивные нормальные формы. Логика предикатов первого порядка. Метод резолюции в логике высказываний.

Нормальные формы, эрбрановские интерпретации, теорема Эрбрана. Неразрешимость задач определения выполнимости и общезначимости формулы логики предикатов.

Понятия полноты и непротиворечивости логической системы. Теоремы о полноте исчисления высказываний и логики предикатов первого порядка. Теоремы Геделя о неполноте.

5. Основы теории графов

Бинарные отношения и графы. Способы представления графов. Подграфы. Маршруты, цепи, циклы. Связность. Компоненты связности в ориентированных и неориентированных графах.

Эйлеровы пути и циклы. Алгоритм построения эйлеровых циклов. Оценка сложности алгоритма. Гамильтоновы пути и циклы. Сложность задачи проверки существования гамильтонова цикла.

Раскраска графов. Хроматическое число.

Двудольные графы. Паросочетания и алгоритм построения наибольшего паросочетания в двудольном графе.

Деревья. Связанность любых двух вершин дерева единственным простым путем. Способы представления деревьев. Сбалансированные двоичные деревья.

Алгоритмы на графах: обход графа, поиск кратчайших путей, построение минимального остовного дерева, нахождение максимального потока и минимального разреза.

Специализированный блок вопросов

Формальные языки и грамматики, алгоритмы и вычислительная сложность

Основные понятия и определения формальных языков и грамматик. Классификация грамматик и языков по Хомскому. Порождающие и аналитические (распознающие) грамматики. Регулярные грамматики, конечные автоматы и регулярные выражения. Минимизация детерминированных конечных автоматов. Построение детерминированного автомата, эквивалентного данному недетерминированному автомату. Лемма о разрастании для конечных автоматов и ее применение.

Контекстно-свободные грамматики и деревья вывода. Нормальные формы контекстно свободных грамматик. Автоматы с магазинной памятью.

Машины Тьюринга, частично рекурсивные функции, машины с произвольным доступом к памяти (РАМ-машины). Тезис Черча. Неразрешимость проблемы останова машины Тьюринга. Анализ сложности алгоритмов. Классы задач P и NP, примеры. Сводимость задач по Карпу и Тьюрингу. NP-полнота. Теорема Кука – Левина.

Классы задач по памяти: L, NL, coNL, PSPACE. Их соотношение с классами задач по времени.

Вероятностные алгоритмы. Классы задач BPP, ZPP, RP.

Подходы к проектированию алгоритмов: «разделяй и властвуй», динамическое программирование, жадная стратегия. Алгоритмы сортировки, двоичного поиска, быстрое возведение в степень, вычисление расстояния Левенштейна. Двоичные деревья поиска, кучи, хеш-таблицы.

Список рекомендуемой литературы:

1. Алескеров Ф.Т., Хабина Э.Л., Шварц Д.А. Бинарные отношения, графы и коллективные решения. — М.: Физматлит, 2013.
2. Арнольд В.И., Обыкновенные дифференциальные уравнения. — М.: Наука, 1984.
3. Ахо А., Ульман Дж. Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции. Т.1. Синтаксический анализ. — М.: Мир, 1978.
4. Ахо А., Ульман Дж. Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции. Т.2. Компиляция. — М.: Мир, 1978.
5. Басакер Р., Саати Т. Конечные графы и сети. — М.: Наука, 1974.
6. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории вероятностей. — М.: Радио и связь, 1983.
7. Воронцов К.В. Математические методы обучения по прецедентам (теория обучения машин). — <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/6/6d/Voron-ML-1.pdf>
8. Гарсиа-Молина Г., Ульман Дж., Уидом Дж. Системы баз данных. Полный курс. — Вильямс, 2003.
9. Гельфанд И.М. Лекции по линейной алгебре. — М.: Наука 1971.
10. Гладкий А.В. Формальные грамматики и языки. — М.: Наука, 1973.
11. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. — М.: Мир, 1982.
12. Дасгупта С., Пападимитриу Х., Вазирани У. Алгоритмы. — М.: МНЦМО, 2014.
13. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных. — 8-е изд. — М.: Вильямс, 2005.
14. Кормен Т.Х., Лейзерсон Ч.И., Ривест Р.Л., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ. — 2-е издание: Пер. с англ. — М.: Вильямс, 2007.
15. Кузнецов О.П. Дискретная математика для инженера. — М.: Лань, 2004.
16. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. — М.: Логос, 2002.
17. Литвак Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений. — М.: Патент, 1996.
18. Мендельсон Э. Введение в математическую логику. — М.: Наука, 1971.
19. Миркин Б.Г. Проблема группового выбора. — М.: Наука, 1974.
20. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. — 2-е изд.: Пер. с англ.
21. Рудин У. Основы математического анализа. — М.: Мир, 1976.
22. Оре О. Графы и их применение. — М.: Мир, 1965; — Новокузнецк: Изд. Отдел Новокузнецкого физико-математического ин-та, 2000.
23. Роберт У. Себеста. Основные концепции языков программирования. — 5-е изд. — М.: Вильямс, 2001.
24. Успенский В.А., Верещагин Н.К., Плиско В.Е. Вводный курс математической логики. — 2-е изд. — М.: Физматлит, 2004.
25. Хопкрофт Дж., Мотвани Р., Ульман Дж. Введение в теорию автоматов, языков и вычислений. — 2-е изд.: Пер. с англ. — М.: Вильямс, 2008.
26. Шведов А.С. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебное пособие для студентов экономических специальностей. — М.: Изд-во ВШЭ, 1995.
27. Arora S., Barak B. Computational Complexity: A Modern Approach. — Cambridge University Press, 2009.
28. Bishop C. Pattern Recognition and Machine Learning. — Springer, 2006.
29. Jurafsky D., Martin, J.H. Speech and Language Processing. — Prentice Hall, 2008.
30. Flach P. Machine Learning: The Art and Science of Algorithms that Make Sense of Data. — Cambridge University Press, 2012.
31. Kleinberg J., Tardos E. Algorithm Design. — Addison-Wesley, 2005.

32. Moore C., Mertens S. The Nature of Computation. — Oxford University Press, 2011.
33. Sipser M. Introduction to the Theory of Computation. — Boston, Mass.: Thomson Course Technology, 2006
34. Гарсиа-Молина Г., Ульман Дж., Уидом Дж. Системы баз данных. Полный курс. — Вильямс, 2003.
35. Гельфанд И.М. Лекции по линейной алгебре. — М: Наука 1971.
36. Гладкий А.В. Формальные грамматики и языки. — М.: Наука, 1973.
37. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. — М.: Мир, 1982.
38. Дасгупта С., Пападимитриу Х., Вазирани У. Алгоритмы. — М.: МНЦМО, 2014.
39. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных. — 8-е изд. — М.: Вильямс, 2005. 14.
- Кормен
40. Т.Х., Лейзерсон Ч.И., Ривест Р.Л., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ. — 2-е издание: Пер. с англ. — М.: Вильямс, 2007.
41. Крупский В.Н. Введение в сложность вычислений. — М.: Факториал Пресс, 2006.
42. Кузнецов О.П. Дискретная математика для инженера. — М.: Лань, 2004.
43. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. — М.: Логос, 2002.
44. Литвак Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений. — М.: Патент, 1996.
45. Мендельсон Э. Введение в математическую логику. — М.: Наука, 1971.
46. Миркин Б.Г. Проблема группового выбора. — М.: Наука, 1974.
47. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. — 2-е изд.: Пер. с англ.
48. Рудин У. Основы математического анализа. — М.: Мир, 1976.
49. Оре О. Графы и их применение. — М.: Мир, 1965; — Новокузнецк: Изд. Отдел Новокузнецкого физико-математического ин-та, 2000.