

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Утверждено
Решением НАК при Президенте
Кыргызской Республики

От 27.01.2022г. № 052

ПРОГРАММА-МИНИМУМ

кандидатского экзамена по специальности 05.13.01.

“Системный анализ, управление и обработка информации”
(технические, физико-математические науки)

Программа-минимум
разработана Институтом
автоматики и машиноведения
НАН Кыргызской Республики и
содержит 15 страниц.

Бишкек 2021

ПРОГРАММА-МИНИМУМ
кандидатского экзамена по специальности
05.13.01 «Системный анализ, управление
и обработка информации»
по техническим и физико-математическим наукам
Введение

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: системный анализ, исследование операций, теория принятия решений, теория управления, методы оптимизации, методы искусственного интеллекта и экспертные системы, информатика, информационные системы и технологии.

1. Основные понятия и задачи системного анализа

Понятия о системном подходе, системном анализе. Выделение системы из среды, определение системы. Системы и закономерности их функционирования и развития. Управляемость, достижимость, устойчивость.

Свойства системы: целостность, иерархичность, функциональность, эмерджентность.

Модели систем: по характеру изучаемых процессов (детерминированные, стохастические, статистические, динамические, дискретные, непрерывные, гибридные) и по форме представления (концептуальные, топологические, формализованные, информационные, семантические, логико-лингвистические, теоретико-множественные и др.)

Классификация систем. Естественные, концептуальные и искусственные, простые и сложные, целенаправленные, целеполагающие, активные и пассивные, стабильные и развивающиеся системы.

Основные методологические принципы анализа систем. Задачи системного анализа. Роль человека в решении задач системного анализа.

2. Методы принятия решений

Постановка задач принятия решений. Классификация задач принятия решений. Этапы решения задач.

Экспертные процедуры. Задачи оценивания. Алгоритм экспертизы.

Методы получения экспертной информации. Шкалы измерений, методы экспертных измерений. Методы опроса экспертов, характеристика экспертов. Методы обработки экспертной информации, оценка компетентности экспертов, оценка согласованности мнений экспертов.

Методы формирования исходного множества альтернатив. Морфологический анализ.

Методы многокритериальной оценки альтернатив, Классификация методов. Множества компромиссов и согласия, построение множеств. Функция полезности. Аксиоматические методы многокритериальной оценки. Прямые методы многокритериальной оценки альтернатив. Методы

нормализации критериев. Характеристики приоритета критериев. Постулируемые принципы оптимальности (равномерности, справедливой уступки, главного критерия, лексикографической). Методы аппроксимации функции полезности. Деревья решений. Методы компенсации. Методы аналитической иерархии. Методы порогов несравнимости. Диалоговые методы принятия решений. Качественные методы принятия решений (вербальный анализ).

Принятие решений в условиях неопределенности. Статистические модели принятия решений. Методы глобального критерия. Критерии Байеса-Лапласа, максиминный (Вальда), Бернулли-Лапласа, Гермейера, минимаксного риска Сэвиджа, Гурвица, Ходжеса-Лемана и др.

Принятие коллективных решений. Теорема Эрроу и ее анализ. Правила большинства, Кондорсе, Борда. Парадокс Кондорсе. Расстояние в пространстве отношений. Современные концепции группового выбора.

Модели и методы решений при нечеткой информации. Нечеткие множества. Основные определения и операции над нечеткими множествами. Нечеткое моделирование. Задачи математического программирования при нечетких исходных условиях. Задача оптимизации на нечетком множестве допустимых условий. Задача достижения нечетко определенной цели. Нечеткое математическое программирование с нечетким отображением. Постановки задач на основе различных принципов оптимальности. Нечеткие отношения, операции над отношениями, свойства отношений. Принятие решений при нечетком отношении предпочтений на множестве альтернатив. Принятие решений при нескольких отношениях предпочтения.

Игра как модель ситуации. Классификация игр. Матричные, кооперативные и дифференциальные игры. Цены и оптимальные стратегии. Чистые и смешанные стратегии. Функция потерь при смешанных стратегиях. Геометрическое представление игры. Нижняя и

верхняя цены игр, седловая точка. Принцип минимакса. Решение игр. Доминирующие и полезные стратегии.

Нахождение оптимальных стратегий. Сведение игры к задаче линейного программирования.

3. Теория управления

3.1. Общие вопросы

Управление в технических системах и научно-технический процесс. Задачи комплексной автоматизации производства. Гибкие производственные системы.

Объекты управления и их классификация. Автоматические и автоматизированные системы управления. Компьютеры в системах управления и человеко-машинные комплексы.

3.2. Основные концепции классической теории управления с обратной связью

Терминология. Основные концепции управления техническими системами (динамическая система, устойчивость, обратная связь, компенсация). Описание динамических систем во временной области (дифференциальные уравнения, интеграл свертки, представление в пространстве состояний). Описание динамических систем в частотной области (преобразование Лапласа, передаточная функция, полюса и нули, импульсная переходная функция). Описание с помощью блочных диаграмм. Графы сигналов. Линеаризация нелинейных моделей. Типовые нелинейности в практических задачах: насыщение, зона нечувствительности и т.д.

Устойчивость линейных систем: алгебраические и геометрические критерии устойчивости (критерии Рауса-Гурвица, Леонарда-Михайлова, Найквиста).

Тестовые сигналы. Реакция управляемых систем на типовые (тестовые) воздействия (единичный скачок, импульс и т.д.). Оценка качества переходных процессов. Доминантные полюса передаточных функций. Минимально-фазовые и неминимально-фазовые системы. Построение моделей на базе разгонных характеристик. Анализ качества управления в статике.

Основные свойства обратной связи: чувствительность к изменению параметров, подавление возмущений, основные структуры управления, типовые законы управления, синтез законов управления (подход на основе частотных характеристик, параметрическая оптимизация, алгебраические

компенсационные методы). Проектирование и настройка ПИД контроллеров. Цифровое проектирование типовых контроллеров.

Анализ систем в частотной области. Реакция разомкнутых и замкнутых систем на гармонические сигналы. Связь с откликом систем во временной области. Диаграммы Боде (логарифмические амплитудно-частотные характеристики). Относительная устойчивость. Запас по амплитуде и фазе.

Методы размещения корней: системы один вход – один выход и многовходовые – многовыходные системы. Проектирование во временной области. Проектирование на базе полиномиального подхода.

3.3. Модели динамических систем в пространстве состояний

Описание непрерывных и дискретных систем в пространстве состояний. Линеаризация. Линейные стационарные системы. Линейные нестационарные системы. Модели в пространстве состояний динамических систем, описываемых дифференциальными уравнениями произвольного порядка. Модели динамических систем в пространстве состояний на базе блок-схем. Модели динамических систем в пространстве состояний на базе передаточных функций. Канонические формы систем, Решение линейных уравнений состояний. Вычисление матричного экспоненциала и его интегралов. Связь описания систем в состояниях и входе-выходного описания для непрерывного и дискретного времени. Матричные передаточные функции и уравнения в состояниях. Импульсная переходная матрица.

Управляемость и наблюдаемость. Специальные формы для стационарных систем. Робастная управляемость и наблюдаемость. Эквивалентные реализации и снижение размерности моделей. Минимальная реализация. Методы агрегирования моделей. Агрегирование моделей с помощью аппарата регулярных и сингулярных возмущений.

3.4. Устойчивость

Устойчивость по Ляпунову. Концепция равновесия, качественные характеристики равновесия. Устойчивость по Ляпунову линейных систем.

Геометрические и алгебраические критерии устойчивости. Устойчивость дискретных систем. Непрерывное и дискретное матричные уравнения Ляпунова. Входе-выходная устойчивость непрерывных и дискретных систем. Экспоненциальная и равномерная устойчивость. Асимптотическая устойчивость. Стабилизируемость и детектируемость

систем. Запас устойчивости. Размещение полюсов. Робастная устойчивость.

3.5. Оптимизация и математическое программирование

Основные определения. Проблема оптимизации. Классификация задач оптимизации.

3.5.1. Статические задачи оптимизации. Методы оптимизации без ограничений. Оптимизация с ограничениями равенствами, численные алгоритмы. Метод множителей Лагранжа. Оптимизация с ограничениями неравенствами. Численные методы решения. Классификация задач математического программирования. Стохастическое программирование. Теорема Куна-Такера. Проблемы оптимизации с недифференцируемыми функциями. Методы штрафных функций. Задачи оптимизации на графах. Задачи дискретного программирования. Булево программирование. Декомпозиционно-координационные методы в нелинейном программировании. Линейные задачи оптимизации. Постановка и примеры задач линейного программирования. Симплекс метод и его вычислительная эффективность. Двойственность задач линейного программирования. Анализ чувствительности. Параметрическое программирование. Решение задач линейного программирования большой размерности. Декомпозиция Данцига-Вульфа. Задачи линейного программирования на сетях. Симплекс метод для сетевых моделей. Целочисленное линейное программирование.

3.5.2. Динамические задачи оптимизации. Проблема динамической оптимизации. Сильный и слабый экстремум. Вариация функционала. Основы вариационного исчисления. Уравнение Эйлера. Задачи Больца, Лагранжа и Майера. Уравнение Гамильтона-Якоби. Решение оптимизационных задач управления на базе вариационного исчисления.

Основные задачи теории оптимального управления, критерии оптимальности. Динамическое программирование. Принцип Беллмана для непрерывных и дискретных систем. Решение оптимизационных задач управления на базе метода динамического программирования.

Принцип максимума Понтрягина. Задача о максимальном быстродействии. Теорема о 'n' интервалах. Решение оптимизационных задач управления на базе принципа максимума Понтрягина.

Сравнительный анализ результатов проектирования законов управления на базе метода динамического программирования, принципа максимума Понтрягина и вариационного исчисления.

Оптимальные системы управления с обратной связью: структуры и характеристики. Обратная связь по состоянию и по выходу. Оптимальный линейно-квадратичный (ЛК) контроллер состояния для непрерывных и дискретных систем. Уравнение Риккати-Лурье для непрерывных и дискретных систем. Оптимальное цифровое ЛК управление непрерывными системами. Оптимизация по критерию обобщенной работы А.А. Красовского. Оптимальное ЛК управление системами с последствием.

Оптимальное ЛК управление системами с распределенными параметрами. Оптимальное управление для полиномиальных систем. Дискретный ЛК контроллер. Цифровое управление дискретными системами. Запас устойчивости и оптимальность.

Методы модального управления.

Стохастические задачи оптимального управления. Уравнение Беллмана при стохастическом управлении. Байесов подход к задаче оптимизации. Теорема разделения. Линейно-квадратичная гауссова (ЛКГ) задача оптимизации. Управление на конечном и бесконечном интервале времени.

Численные методы оптимизации на базе параллельных и распределенных вычислений.

3.6. Методы идентификации

Задачи идентификации, параметрические и непараметрические модели.

3.6.1. Идентификация состояния. Детерминированные методы оценивания состояний: наблюдатель Люенбергера. Оценивание состояний стохастических объектов: фильтр Калмана-Бьюси. Оптимальные алгоритмы оценивания состояний непрерывных и дискретных систем. Фильтр Винера.

3.6.2. Идентификация параметрических моделей по экспериментальным данным. Методы оценивания параметров. Точечные и интервальные оценки.

Байесов метод оценивания. Оценки по методу максимума правдоподобия. Методы регрессионного анализа. Метод наименьших квадратов. Рекуррентный метод наименьших квадратов.

Проблема планирования экспериментов в задачах идентификации. Методы непараметрической идентификации. Одновременное оценивание состояний и параметров.

Адаптивное оценивание: классификация и основные схемы. Поисковые и беспоисковые методы оценивания. Метод стохастической аппроксимации. Метод инструментальных переменных. Прогнозирующие методы идентификации.

Методы робастного оценивания. Метод Монте-Карло. Методы статистической обработки сигналов.

3.7. Методы адаптивного управления

Адаптивное управление: классификация и основные схемы. Прямое и не прямое адаптивное управление. Системы с эталонной моделью. Самонастраивающийся контроллер Острема. Системы с идентификатором. Системы экстремального управления.

Проектирование адаптивных систем на базе методов устойчивости Ляпунова. Проектирование устойчивых адаптивных систем на базе леммы Калмана-Якубовича-Майера.

Метод стохастической аппроксимации. Метод рекуррентных целевых неравенств. Адаптивное управление с рекуррентным идентификатором в замкнутом контуре. Робастные, параметрические алгоритмы адаптивного управления.

Адаптивные системы с переменной структурой. Случайный поиск в адаптивных системах. Практические аспекты и применение.

Системы с элементами искусственного интеллекта. Проектирование адаптивных систем с помощью искусственных нейронных сетей.

Адаптивное управление стохастическими объектами. Дуальное управление. Адаптивный вариант ЛКГ задачи. Рекуррентные соотношения для апостериорных вероятностей.

Адаптивное минимальное управление. Стохастические адаптивные автоматы.

3.8. Робастное управление

Практические аспекты робастного управления. Структурированные и неструктурированные определенности. Неопределенность и робастность. Пространства H_2 и H_∞ бесконечности. Вычисление H_2 и H_∞ бесконечности норм.

Интервальные полиномы. Анализ робастной устойчивости. Теорема

Харитоновна. Анализ свойств робастности систем с обратной связью. Анализ робастности систем с ЦВМ в контуре управления.

Проектирование робастных контроллеров: H_2 оптимальное управление (непрерывные системы, дискретные системы, гибридные непрерывно-дискретные системы), H_∞ оптимальное управление (непрерывные системы, дискретные системы, гибридные непрерывно-дискретные системы). Решение задачи H_∞ оптимального управления в пространстве состояний. Параметризация контроллеров. Мю анализ и мю синтез.

3.9. Управление большими системами

Понятие ограничений на информационную структуру управления. централизованные и децентрализованные структуры управления. Многослойные и многоуровневые структуры управления. Модели функциональных и алгоритмических структур. Методы координации. Координируемость. Модельная и целевая координация.

Методы исследования устойчивости взаимосвязанных систем. Методы иерархической оптимизации динамических систем. Децентрализованное робастное управление. Децентрализованное адаптивное управление.

3.10. Автоматизированное проектирование и компьютерный анализ систем управления

Компьютерное моделирование динамических систем: интерактивный графический интерфейс пользователя, цветная графика, анимационная визуализация движения динамических систем.

Компьютерный инструментарий для автоматизированного проектирования и моделирования. Использование сред MatLab и Simulink для анализа и проектирования систем управления. Основы работы в среде MatLab и Simulink.

Тенденции в развитии компьютерного инструментария для проектирования и моделирования систем.

4. Обработка информации

4.1. Методы классификации и распознавания

Проблема распознавания и классификация. Формализация описания среды при распознавании образов. Семантика описания. Инвариантные преобразования изображений. Структурно-лингвистический подход.

Основные положения теории статистических решений. Критерии классификации. Методы группировки многомерных данных. Алгоритмы таксономии.

4.2. Системы логического управления

Алгебра логики. Булевы функции. Множества отношения, предикаты. Теория алгоритмов и формальных языков. Машины Тьюринга. Языки и грамматика. Классификация грамматик.

Теория графов и сетей. Маршруты, цепи, циклы. Деревья. Операции над графами. Экстремальные задачи на графах и сетях.

Математические модели систем логического управления. Сети Петри. Сети из автоматов. Диагностика систем логического управления.

5. Компьютерные технологии обработки информации

Определение и общая классификация видов информационных технологий. Модели, методы и средства сбора, хранения, коммуникации и обработки информации с использованием компьютеров.

Программно-технические средства реализации современных офисных технологий. Создание и обработка текстовых файлов и документов с использованием текстовых редакторов и процессоров. Программные средства создания и обработки электронных таблиц.

Программные средства создания графических объектов, графические процессоры (векторная и растровая графика).

Понятие информационной системы, банки и базы данных, Логическая и физическая организация баз данных. Модели представления данных, архитектура и основные функции СУБД. Распределенные БД. Принципиальные особенности и сравнительные характеристики файл-серверной, клиент-серверной и интернет-технологий распределенной обработки данных.

Реляционный подход к организации БД. Базисные средства манипулирования реляционными данными. Методы проектирования реляционных баз данных (нормализация, семантическое моделирование данных, Языки программирования в СУБД, их классификация и особенности. Стандартный язык баз данных SQL. Перспективные концепции построения СУБД (ненормализованные реляционные БД, объектно-ориентированные базы данных и др.).

Основные сетевые концепции. Глобальные, территориальные и локальные сети. Проблемы стандартизации. Сетевая модель OSI. Модели взаимодействия компьютеров в сети.

Среда передачи данных. Преобразование сообщений в электрические сигналы, их виды и параметры. Проводные и беспроводные каналы передачи данных,

Локальные сети. Протоколы, базовые схемы пакетов сообщений и топологии локальных сетей. Сетевое оборудование ЛВС. Глобальные сети. Основные понятия и определения. Сети с коммутацией пакетов и ячеек, схемотехника и протоколы. Принципы межсетевого взаимодействия и организации пользовательского доступа. Методы и средства защиты информации в сетях. Базовые технологии безопасности.

Сетевые операционные системы. Архитектура сетевой операционной системы: сетевые оболочки и встроенные средства. Обзор и сравнительный анализ популярных семейств сетевых ОС.

Принципы функционирования Internet, типовые информационные объекты и ресурсы. Ключевые аспекты WWW-технологии.

Адресация в сети Internet. Методы и средства поиска информации в Internet, информационно-поисковые системы. Языки и средства программирования Internet приложений. Классификация языков программирования. Структурные, объектно-ориентированные, функционально-логические языки программирования. Сущность объектно-ориентированного подхода к программированию. Инкапсуляция, наследование, полиморфизм.

Классификация технологий разработки программного обеспечения. основные этапы жизненного цикла ПО. Структурные и объектно-ориентированные технологии анализа и проектирования программных систем. Методология SADT. Модели DFD. Язык UML.

Представление звука и изображения в компьютерных системах. Устройства ввода, обработки и вывода мультимедиа информации. Форматы

представления звуковых и видеофайлов. Оцифровка и компрессия.

Программные средства записи, обработки и воспроизведения звуковых и видеофайлов. Мультимедиа в вычислительных сетях.

Основные разделы теории и приложений искусственного интеллекта.

Описание и постановка задачи. Задачи в пространстве состояний, пространстве целей. Классификация задач по степени сложности.

Линейные алгоритмы. Полиномиальные алгоритмы. Экспоненциальные алгоритмы.

Виды и уровни знаний. Знания и данные. Факты и правила. Принципы организации знаний. Требования, предъявляемые к системам представления и обработки знаний. Формализмы, основанные на классической и математической логиках. Современные логики. Фреймы. Семантические сети и графы. Модели, основанные на прецедентах. Приобретение формализация знаний. Пополнение знаний. Обобщение и классификация знаний.

Логический вывод и умозаключение на знаниях. Проблемы и перспективы представления знаний.

Назначение и принципы построения экспертных систем. Методология разработки экспертных систем. Этапы разработки экспертных систем. Проблемы и перспективы построения экспертных систем.

Искусственные нейронные сети (ИНС). Основные концепции ИНС: модель, архитектура, алгоритмы обучения.

Глубокое обучение в технологиях компьютерного зрения. Глубокое обучение для текста и последовательностей. Генеративное глубокое обучение. Обучение с подкреплением. Глубокие Q-сети. Метод актора-критика. Методы, основанные на моделях среды.

Рекомендуемая основная литература

1. Рыков А.С. Методы системного анализа. Многокритериальная и нечеткая оптимизация, моделирование и экспертные оценки. М.: Экономика, 1999.
2. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. М.: Логос, 2000.
3. Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений. М.: Мир, 1990.
4. Акоф Р., Сасени М. Основы исследования операций. - М.: Мир, 1973.
5. Вагнер Г. Основы исследования операций (в трех томах). - М.: Мир, 1972.
6. Вентцель В.С. Исследование операций. Задачи. Принципы. Методология. - М.: Наука, 1981.
7. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. - М.: Наука, 1981.
8. Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления. - М.: Наука, 1986.
9. Фельдбаум А.А. Основы теории оптимальных автоматических систем. — М.: Наука, 1966.
10. Теория автоматического управления. Ч. 1. и ч.2./ Под ред. Акад. А.А.Воронова. — М.: Высшая школа, 1977.
11. Цыпкин Я.З. Основы теории автоматических систем. М.: Наука, 1977.

12. Справочник по теории автоматического управления./Под ред. Акад. А.А. Красовского. - М.: Наука, 1990.
13. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. М.: Наука, 2002.
14. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.1 и т.2. М.: Физматлит, 2003.
15. Брайсон А., Хо Ю Ши Прикладная теория оптимального управления. - М.: мир, 1972.
16. Квакернак Х., Сиван Р. Линейные оптимальные системы управления. - М.: мир, 1977.
17. Кароманов В.Г. Математическое программирование. - М.: Наука, 1986.
18. Мину М. Математическое программирование. Теории и алгоритмы. - М.: Наука, 1990.
19. Моисеев Н.Н., Иванилов Ю.П., Столярова Е.М. Методы оптимизации. - М.: Наука, 1978.
20. Васильев Ф.П. Методы оптимизации. М.: Факториал Пресс, 2002.
21. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. - М.: Наука, 1975.
22. Орлов С.А., Цилькер Б.Я. Технологии разработки программного обеспечения. Современный курс по программной инженерии: Учебник для вузов. СПб.:Питер, 2012.
23. Вендров А.М. Проектирование информационных систем: М., Финансы и статистика, 2013.
24. Баженова И.Ю. Основы проектирования приложений баз данных [Электронный ресурс] : Учеб. пос.: ИНТУИТ, 2017.
25. Храмов П.Б. [и др.] Основы Web-технологий [Электронный ресурс] : Учеб. пос.: ИНТУИТ, 2017.
26. Сафонов В.О. Возможности Visual Studio 2013 и их использование для облачных вычислений: ИНТУИТ, 2016.
27. Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влиссидес Д. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. СПб.: Питер, 2013.
28. Алексеев А.П. Многоуровневая защита информации. Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2017.
29. Древис Ю.Г. Технические и программные средства систем реального времени. М.: Лаборатория знаний, 2016.
30. Федин Ф.О. Анализ данных. Часть 2. Инструменты Data Mining : учебное пособие. М.: МГПУ, 2014.

Дополнительная литература

1. Цыпкин А.З. Адаптация и обучение в автоматических системах. - М.: Наука, 1978.
2. Воронов А.А. Введение в динамику сложных управляемых систем. М.: наука, 1985.
3. Петров Б.Н., Рутковский В.Ю., Земляков С.Д. Адаптивное координатно-параметрическое управление нестационарными объектами. - М.: Наука, 1980.
4. Фомин В.Н., Фрадков А.Л., Якубович В.А. Адаптивное управление динамическими объектами. - М.: Наука, 1981.
5. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. - М.: Мир, 1973.
6. Воронов А.А. Введение в динамику управляемых сложных управляемых систем. - М.: Наука, 1985.
7. Сингх М., Титли А. Системы: декомпозиция, оптимизация и управление. - М.: Машиностроение, 1987.
8. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Г, Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер, 2000.
9. Ларичев О.И., Мошкович Е.М. Качественные методы принятия решений. М.: Наука, 1996.
10. Саати Т., Керис К. Аналитическое планирование. Организация систем. М.: Радио и связь, 1991.
11. Живоглазов В.П. Интегрированные и многоуровневые системы управления производством.-- Фрунзе: Илим, 1980. --146с.
12. Шаршеналиев Ж.Ш. Оптимизация систем с разделяемыми движениями и ограниченными ресурсами. — Фрунзе: Илим, 1980.
13. Миркин Б.М. Оптимизация динамических систем с децентрализованной структурой управления. Фрунзе: Илим, 1986.
14. Оморов Т.Т., Шаршеналиев Ж.Ш. Управление многомерными объектами на основе концепции допустимости. — Бишкек: Илим, 1996.
15. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Регсдел К. Оптимизация в технике. Т. I ,2. М.: мир, 1986.
16. Джеймс Р. Грофф, Пол Н. Вайнберг, Эндрю Дж. Оппель. SQL: полное руководство. Изд-во Вильямс, 2015 - 960 с.
17. Третьяк Л. Н., Воробьев А. Л. Основы теории и практики обработки экспериментальных данных: Учебное пособие Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ 2015.
18. Павловская Т. А. С++. Программирование на языке высокого уровня. Для магистров и бакалавров: учебник, СПб.: Питер 2013, 464 стр.
19. Умняшкин С.В. Основы теории цифровой обработки сигналов [Электронный ресурс]: учебное пособие / С.В. Умняшкин. — Электрон. текстовые данные. — М. : Техносфера, 2016. — 528 с.
20. Шолле Ф. Глубокое обучение на Python. - СПб.: Питер, 2018. - 400 с.

21. Лапань Максим Глубокое обучение с подкреплением. AlphaGo и другие технологии. - СПб.: Питер, 2020. - 496 с
22. Fletcher R. Practical Methods of Optimization. — Wiley & Sonns, New-York, 1987.
23. Astrem K.J. and Wittenmark B. Computer Controlled Sysytems: Theory and Design. Prentice-Hall, Englewood cliffd, NJ, 2nd edition, 1990.
24. Chen T. And Francis B.A. Optimal Sampled-data control Systems. Springer-Verlag, Berlin, 1991.
25. DeCarlo r.A. Linear systems (A state variable approach with numerical implementation). Prentice-Hall, englewood cliffd, NJ, London, 1989.
26. LD. Landau, R. Lozano, M. M'Saad adaptive control. Springer Verlag, London, 1997.
27. Narendra k.S. and A.M. Annaswany. Stable Adaptive Systems, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1989.
28. Ogata K. Solving Control Engineering Problems with MATLAB. Prntice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1994.