**Программа дисциплины «Специальная дисциплина»**

для образовательной программы

«Системный анализ. Математическое моделирование. Информационные технологии»

Авторы программы:

Афанасьев В.Н., д. техн. н., профессор департамента прикладной математики;

Каперко А.Ф., д. техн. н., профессор департамента электронной инженерии;

Романов А.Ю. к. техн.н., доцент департамента компьютерной инженерии.

Согласовано Академическим советом Аспирантской школы по техническим наукам

« » 2024 г. протокол №

Москва – 2024

*Настоящая программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения разработчика программы.*

**ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ**

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает минимальные требования к знаниям и умениям аспирантов образовательной программы «Системный анализ. Математическое моделирование. Информационные технологии».

Программа предназначена для преподавателей, ведущих данную дисциплину и аспирантов.

Программа разработана в соответствии c:

* образовательной программой «Системный анализ. Математическое моделирование. Информационные технологии»;
* учебным планом образовательной программы «Системный анализ. Математическое моделирование. Информационные технологии»;
* паспортом области науки «Инженерные науки и прикладная математика» Диссертационного совета НИУ ВШЭ по инженерным наукам и прикладной математике.

# ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины является подготовка к сдаче и сдача кандидатского экзамена по специальности в соответствии с научной специальностью подготавливаемой научно-квалификационной работы (диссертации).

# МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Настоящая дисциплина относится к обязательным дисциплинам вариативной части образовательной программы и осваивается на 2 году обучения трехлетней или 3 году четырехлетней образовательной программы обучения в аспирантуре.

Специальной дисциплине предшествует освоение следующих дисциплин: системный анализ.

# Программа «Специальная дисциплина» дифференцирована по областям знания научных специальностей образовательной программы. Аспирант осваивает один из трех блоков и сдает кандидатский экзамен по одному из них в соответствии с научной специальностью его научно-квалификационной работы (диссертации).

# Научная специальность диссертации утверждается Академическим советом аспирантской школы на первом году обучения.

Для каждого блока предусмотрены тематический план, перечень вопросов к кандидатскому экзамену и учебно-методическое и информационное обеспечение.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Научная специальность, по которой подготавливается диссертация | Область знания научных специальностей образовательной программы | Тематический план, перечень вопросов к кандидатскому экзамену и учебно-методическое обеспечение. |
|
| 2.3.1 Системный анализ, управление и обработка информации, статистика | Системный анализ, управление и обработка информации, статистика | [Блок 1](Метрология#_БЛОК_1_) |
| 2.3.2 Вычислительные системы и их элементы | Вычислительные системы и их элементы | [Блок 2](Метрология#_БЛОК_1_) |
| 2.3.7 Компьютерное моделирование и автоматизация проектирования | Компьютерное моделирование и автоматизация проектирования | [Блок 3](Элементы#_БЛОК_2_) |

**Блок 1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»**

**Тема 1 Системный анализ. Общие сведения**

Системный анализ. Понятие системы и системности. Система, элемент, подсистема. Основные свойства системы. Классификация систем. Принципы системного подхода

Определение понятия «модель». Виды моделирования. Принципы и подходы к построению математических моделей. Этапы построения математической модели. Классификация моделей. Этапы моделирования.

Интерполяция, экстраполяция, прогнозирование. Линейность и нелинейность. Дискретность и непрерывность. Детерминированность и случайность. Графические способы функционального описания систем. Описание синтаксиса языка моделирования. Основные задачи системного анализа. Стратегии декомпозиции. Этап синтеза системы. Формирование общего представления системы. Формирование детального представления системы

Выбор решения при системном анализе и моделировании технических систем. Постановка задачи принятия решений. Декомпозиция задачи принятия решения и оценка альтернатив.

**Тема 2 Теория систем**

Понятие системы. Задачи анализа и синтеза. Структурные схемы. Передаточные Функции линейных стационарных систем. Нахождение передаточных Функций для систем, заданных дифференциальными уравнениями и структурными схемами. Применение преобразования Лапласа для нахождения реакции систем на заданные воздействия. Применение преобразования Фурье для нахождения реакции систем на гармонические воздействия.

Частотные передаточные функции и частотные характеристики линейных стационарных систем. Критерий устойчивости Найквиста и понятие запаса устойчивости. Понятие динамической системы по Калману. Уравнения линейных систем в пространстве состояний.

Решение уравнений состояния – оператор Коши и матричная весовая функция. Построение уравнений состояния линейных стационарных систем. Жорданова форма. Управляемость и наблюдаемость линейных стационарных систем. Критерии Калмана. Приведение уравнений состояния к управляемой форме. Построение регуляторов при полной информации о состоянии системы. Задача о построении регуляторов при неполной информации о состоянии системы (с идентификатором.

**Тема 3. Методы оптимизации и теория управления**

Постановка задачи оптимального управления. Принцип максимума Л.С. Понтрягина

Метод динамического программирования. Оптимальное управление линейными объектами. Задача со свободным правым концом и заданным временем окончания переходного процесса. Дифференциальные игры. Линейные игры преследования с квадратичным функционалом. Постановка и основные свойства задач линейного программирования.

Методы золотого сечения и Фибоначчи. Поиск глобального минимума функции одного переменного. Симплекс-метод. Метод отсечения Гомори решения задач целочисленного программирования. Теорема Куна-Таккера. Градиентные методы многомерной оптимизации.

Построение адаптивных наблюдателей для линейных стационарных систем.

Идентификация параметров нелинейных систем, линейно зависящих от параметров.

Рекуррентное оценивание параметров. Задача о модальном управлении объектом с неизвестными параметрами и неполной информацией о векторе состояния. Метод наименьших квадратов в задачах совместного оценивания параметров и состояния систем, линейно зависящих от параметров.

**Тема 4. Теория информации. Моделирование**

Понятие информации. Пропускная способность каналов связи. Теорема кодирования для дискретных каналов. Коды, исправляющие ошибки. Информационные системы. Модели сигналов. Статистические модели сигналов: гауссовые, марковские, скрытые марковские модели. Этапы алгоритмизации процесса обработки информации. Алгоритмы принятия решения, критерии оптимальности алгоритмов. Метод Монте-Карло и максимума апостериорной вероятности. Оценка параметров сигнала. Метод наименьших квадратов, случай линейных измерений. Линейная фильтрация, фильтры Винера и Калмана.

**Тема 5. Модели и методы искусственного интеллекта**

Понятие искусственного интеллекта. Основные подходы к разработке систем искусственного интеллекта. Методы машинного обучения. Их классификация. Задача кластеризации. Задача классификации. Линейная классификация. Регрессионные алгоритмы. Метод опорных векторов. Метод деревьев решений. Вероятностные методы. Наивный байесовский классификатор. Ансамблевые методы. Методы случайного леса. Метод градиентного бустинга. Методы прогнозирования. Временные ряды. Нейронные сети.

**Перечень примерных вопросов для подготовки к кандидатскому экзамену:**

1. Системный анализ. Понятие системы и системности. Система, элемент, подсистема
2. Основные свойства системы: эмерджентность, целостность, организованность, функциональность, структурность, надёжность, адаптируемость. Классификация систем, критерии, области.
3. Системный анализ в исследовании технических систем и процессов. Примеры
4. Принципы системного подхода
5. Определение понятия «модель». Классификация моделей. Общие требования к моделям. Структура моделей. Этапы моделирования
6. Формализация задачи. Некоторые типовые проблемы, возникающие при исследовании. Интерполяция, экстраполяция, прогнозирование. Линейность и нелинейность. Дискретность и непрерывность. Детерминированность и случайность.
7. Графические способы функционального описания систем. Описание синтаксиса языка моделирования.
8. Общий подход к решению проблемы. Основные задачи системного анализа. Стратегии декомпозиции. Этап синтеза системы. Формирование общего представления системы. Формирование детального представления системы
9. Виды моделирования. Принципы и подходы к построению математических моделей. Этапы построения математической модели.
10. Выбор решения при системном анализе и моделировании технических систем. Формализация задачи принятия решения.
11. Постановка задачи принятия решений. Декомпозиция задачи принятия решения и оценка альтернатив.
12. Понятие абстрактной системы. Задачи анализа и синтеза. Структурные схемы.
13. Весовые Функции линейных систем и их преобразования при соединениях систем (параллельном, последовательном и с обратной связью).
14. Передаточные Функции линейных стационарных систем. Нахождение передаточных Функций для систем, заданных дифференциальными уравнениями и структурными схемами.
15. Применение преобразования Лапласа для нахождения реакции систем на заданные воздействия. Реакция на ступенчатое воздействие и показатели качества.
16. Применение преобразования Фурье для нахождения реакции систем на гармонические воздействия. Частотные показатели качества.
17. Частотные передаточные функции и частотные характеристики линейных стационарных систем. Критерий устойчивости Найквиста и понятие запаса устойчивости.
18. Понятие динамической системы по Калману. Уравнения линейных систем в пространстве состояний.
19. Решение уравнений состояния – оператор Коши и матричная весовая функция.
20. Построение уравнений состояния линейных стационарных систем. Жорданова форма, управляемая и наблюдаемая реализации.
21. Управляемость и наблюдаемость линейных стационарных систем. Критерии Калмана. Каноническая декомпозиция систем.
22. Приведение уравнений состояния к управляемой форме. Построение регуляторов при полной информации о состоянии системы.
23. Задача о построении регуляторов при неполной информации о состоянии системы (с идентификатором).
24. Постановка задачи оптимального управления
25. Принцип максимума Л.С. Понтрягина
26. Метод динамического программирования. Численное решение уравнений

динамического программирования.

1. Оптимальное управление линейными объектами. Задача со свободным правым концом и заданным временем окончания переходного процесса.
2. Дифференциальные игры. Постановка задачи. Линейные игры преследования с квадратичным функционалом.
3. Постановка и основные свойства задач линейного программирования.
4. Методы золотого сечения и Фибоначчи.
5. Поиск глобального минимума функции одного переменного.
6. Этапы реализации симпликс-метода.
7. Критерий оптимальности угловой точки.
8. Метод отсечения Гомори решения задач целочисленного программирования.
9. Теорема Куна-Таккера.
10. Градиентные методы многомерной оптимизации.
11. Метод проекции градиента для задач нелинейного программирования.
12. Метод декомпозиции решения задач оптимального проектирования технической системы (ТС). Согласованность критериев.
13. Построение адаптивных наблюдателей для линейных стационарных систем.
14. Идентификация параметров нелинейных систем, линейно зависящих от параметров.
15. Рекуррентное оценивание параметров.
16. Задача о модальном управлении объектом с неизвестными параметрами и неполной информацией о векторе состояния.
17. Метод наименьших квадратов в задачах совместного оценивания параметров и состояния систем, линейно зависящих от параметров.
18. Компьютерная реализация метода наименьших квадратов.
19. Понятие информации. Среднее количество информации.
20. Избыточность. Пропускная способность каналов связи.
21. Теорема кодирования для дискретных каналов.
22. Помехоустойчивость. Коды, исправляющие ошибки.
23. Модели сигналов. Статистические модели сигналов: гауссовые, марковские, скрытые марковские модели.
24. Этапы алгоритмизации процесса обработки информации.
25. Алгоритмы принятия решения, критерии оптимальности алгоритмов.
26. Классификация задач статистической обработки сигналов.
27. Решение задачи обнаружения. Метод МК (метод Монте-Карло) и МАВ (максимума апостериорной вероятности).
28. Оценка параметров сигнала. Метод моментов, и метод максимального правдоподобия
29. Метод наименьших квадратов, случай линейных измерений.
30. Линейная фильтрация, фильтры Винера и Калмана.
31. Понятие искусственного интеллекта. Критерии «интеллектуальности» систем. Основные подходы к разработке систем искусственного интеллекта.
32. Методы машинного обучения. Их классификация
33. Задача кластеризации. Методы и алгоритмы ее решения
34. Задача классификации. Методы ее решения
35. Линейная классификация. Регрессионные алгоритмы
36. Метод опорных векторов
37. Метод деревьев решений
38. Вероятностные методы. Наивный байесовский классификатор
39. Ансамблевые методы. Методы случайного леса. Метод градиентного бустинга
40. Методы прогнозирования. Временные ряды
41. Нейронные сети.
42. Глубокие нейронные сети: Свёрточные нейронные сети (CNN), Рекуррентные нейронные сети (RNN).
43. Прикладные задачи – обработка изображений с использованием нейронных сетей. Генеративные модели
44. Прикладные задачи – обработка текстов с использованием нейронных сетей. Генеративные модели.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

**Основная литература:**

1. Алексеев В.М., Тихомиров В.М., Фомин С.В. Оптимальное управление. – М.: Наука, 1979.
2. Атанс М., Фалб П. Оптимальное управление. – М.: Машиностроение, 1968.
3. Афанасьев В.Н., Колмановский В.Б., Носов В.Р. Математическая теория конструирования систем управления. – М.: Высшая школа, 2003.
4. Афанасьев В.Н. Математическая теория управления непрерывными динамическими системами. – КРАСАНД, 2021.
5. Булдаков Т.И., Миков Д.А. Теория систем и системный анализ. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023.
6. Галлеев Э.М., Зеликин М.И., Конягин С.В. и др. Под ред. Н.П. Осмоловского и В.М. Тихомирова. Оптимальное управление. М.: Изд. МЦНМО, 2008.
7. Емельянов С.В., Коровин С.К., Ильин А.В., и др.. Математические методы теории управления. Проблемы устойчивости, управляемости и наблюдаемости. − М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014.
8. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. Учеб. Пособие. − М.: ФИЗМАТЛИТ. 2004.

**Дополнительная литература:**

1. Малкин И.Г. Теория устойчивого движения. Изд.2-е, стереотипное. М.:
2. Едиториал УРСС. 2004.
3. Поляк Б.Т., Хлебников М.В., Щербаков П.С. Управление линейными системами при внешних возмущениях. Техника линейных матричных неравенств. − М.: ЛЕНАРД, 2013.
4. Тарасов Б.В., Новосельцев В.И. Теоретические основы системного анализа. − М.: Майор, 2013.
5. Bacciotti A., Rosier L. Liapunov Function and Stability in Control Theory. − Springer, 2005.
6. Engwerda J. LQ Dynamic Optimization and Differential Games. – Chichester,John Wiley and Sons, 2005.

# Блок 2 «Вычислительные системы и их элементы»

**Тема 1. Общие свойства и принципы функционирования вычислительных систем и их элементов.**

Определение понятия вычислительной системы (ВС), сравнение понятий ЭВМ и ВС, основные технические параметры вычислительной системы (производительность, отношение производительности к стоимости, ёмкость памяти и др.), единицы измерения этих характеристик и особенности таких измерений для ВС и ЭВМ, понятие архитектуры ВС и ее составляющих, многоуровневая архитектура ВС (микроархитектура, архитектура системы команд, типы данных).

Классификация ВС по назначению, классификация ВС по вычислительным возможностям, сравнительные оценки различных ВС по их характеристикам, другие виды классификаций: по признакам наличия параллелизма в вычислениях, по организации памяти, по системе команд, по количеству вычислительных узлов, по способу доступа к памяти, классификация по Шору, классификация параллельных ВС по организации памяти, классификация по Хэндлеру, классификация по Джонсону, классификация по Хокни.

Перспективные направления исследований для создания элементной базы нового поколения вычислительных систем и их элементов.

**Тема 2. Методы анализа и синтеза вычислительных систем и их элементов, с целью улучшения технических характеристик, включая новые процессорные элементы, сложно-функциональные блоки, системы и сети на кристалле, квантовые компьютеры.**

Структура процессора, основные логические блоки: арифметико-логическое устройство, регистры, устройство управления, их назначение и виды. Взаимодействие процессора с памятью и внешними устройствами. Основные технические характеристики памяти ВС. Логическая организация памяти: стек, память с произвольным и ассоциативным доступом. Основная и внешняя память. Иерархии памяти. Организация кэш-памяти (преобразование адресов, политика замещения и сохранения, политика обеспечения целостности). Временная и пространственная локальность при доступе к памяти. Кэш прямого отображения. Наборно-ассоциативный кэш. Производительность кэша. Виртуальная память, преобразование адресов, таблица страниц, защита памяти.

Архитектура процессорных элементов и сложно-функциональных блоков. Понятия система на кристалле и сети на кристалле. Особенности реализации систем и сетей на кристалле в виде заказной СБИС (ASIC) и на базе ПЛИС (FPGA). CISC и RISC процессорные архитектуры, особенности и отличия. Архитектура MIPS, RISC-V, ARM. Перспективы развития процессорных архитектур.

Компьютерная шина: виды, назначение, особенности организации. Компьютерная шина для объединения модулей в системе на кристалле (AMBA, Avalon, Wishbone, OCP).

Универсальный квантовый компьютер. Квантовые алгоритмы: алгоритм Шора по разложению на множители, алгоритм поиска Гровера.

**Тема 3. Методы, алгоритмы и программы, обеспечивающие надежность, сбое- и отказоустойчивость, контроль и диагностику функционирования вычислительных систем и их элементов.**

Радиационная стойкость элементов вычислительных систем. Виды воздействующих излучений: корпускулярные, квантовые, волновые. Обратимые и остаточные эффекты. Пути повышения радиационной стойкости элементов.

Факторы, влияющие на надежность аппаратно-программных комплексов вычислительных систем. Методы и алгоритмы оценки надежности последовательных вычислительных систем. Способы повышения надежности вычислительных систем и их элементов. Оценка сбое- и отказоустойчивости вычислительных систем.

Показатели качества функционирования вычислительных систем: производительность, надежность, технико-экономическая эффективность. Методы и алгоритмы оценки производительности для вычислительных систем со структурной избыточностью.

**Тема 4. Анализ и экспериментальное исследование функционирования вычислительных систем и их элементов в нормальных и экстремальных условиях для улучшения их технико-экономических и эксплуатационных характеристик.**

Нормальные и экстремальные условия функционирования вычислительных систем. Технико-экономические и эксплуатационные характеристики вычислительных систем.

Повышение производительности вычислительных систем за счет совершенствования архитектуры системы команд. Повышение производительности вычислительных систем за счет совершенствования архитектуры на уровне программного обеспечения. Качественные и количественные методы повышения производительности вычислительных систем. Методы измерения производительности вычислительных систем. Пути уменьшение количества тактов (CPI) на одну команду. Пути увеличение количества выполненных за такт команд (IPC). Ускорители вычислений.

**Тема 5. Методы и алгоритмы организации арифметической, логической, символьной и специальной обработки данных, хранение и ввод-вывод информации.**

Типовые элементы вычислительных систем: логические элементы, дешифраторы, шифраторы, преобразователи кодов, сумматоры, триггеры, мультиплексоры, демультиплексоры, цифровые компараторы, умножители двоичных чисел, шинные формирователи, арифметико-логические устройства. Интегральные микросхемы запоминающих устройств (ПЗУ, ОЗУ, ППЗУ). Сравнительная оценка характеристик RAM, SRAM, DRAM, PROM и др.

Устройства ввода/вывода информации. Цифровой ввод/вывод информации общего назначения. Последовательный ввод/вывод информации (интерфейсы SPI, UART, I2C, USB). Аналоговый ввод/вывод информации.

Микропроцессорные средства обработки информации в вычислительных системах. Аппаратная реализация вычислительных алгоритмов в устройствах обработки сигналов. Цифровые сигнальные процессоры. Специализированные микропроцессорные контроллеры. Проектирование устройств на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС) и программируемых устройств типа систем на кристалле.

**Тема 6. Методы и алгоритмы организации параллельной и распределенной обработки информации, многопроцессорных, многоядерных, многомашинных и специальных вычислительных систем.**

Параллельные вычислительные системы с общей памятью: основные особенности, достоинства и недостатки. Примеры реализаций. Общие принципы программирования систем с общей памятью. Параллельные системы с распределенной памятью. Аппаратное обеспечение систем с распределенной памятью. Общие принципы программирование систем с

распределенной памятью. Реализация суперскалярной системы на примере NVidia CUDA: принципы построения программ, классы памяти системы, блоки потоков, синхронизация потоков, оптимизация. Гибридные параллельные системы: основные направления развития и

принципы программирования. Классификация архитектур мультипроцессоров. Закон Амдала и его следствие. Классификация мультипроцессоров по типу коммутации модулей в системе. Классификация мультипроцессоров по способу доступа к общей памяти. Сравнение процессоров с архитектурой CISC, RISC, VLIW, EPIC. Архитектура многоядерных процессоров. Матричные вычислительные системы. Ассоциативные многопроцессорные системы. Основные группы вычислительных систем класса MIMD с разделяемой памятью: симметричные мультипроцессорные системы (SMP), параллельные векторные системы (PVP) и системы с неоднородным доступом к памяти (NUMA). Вычислительные системы класса SIMD: векторные, матричные, ассоциативные и системы с систолической структурой.

**Тема 7. Методы и алгоритмы создания архитектур и структур вычислительных систем, сетевых протоколов и служб передачи данных в вычислительных системах, взаимодействия вычислительных систем, построенных с использованием различных телекоммуникационных, мобильных и специальных технологий.**

Принципы различных классификаций архитектур вычислительных систем. Классификация архитектур вычислительных систем по способу доступа к памяти. Классификация архитектур вычислительных систем по системе команд (набору инструкций). Классификация архитектур по Флинну. Классификация вычислительных систем по Таненбауму.

Классификация процессоров. Системы команд процессоров. Архитектура суперкомпьютеров. Классификация архитектур суперкомпьютеров. Топология сетей связи. Основные принципы программирования параллельных систем. Закон Амдала и его следствия. Общие принципы синхронизации потоков выполнения. Основные проблемы многопоточной синхронизации: гонки. Программирование параллельных систем средствами современных операционных систем. Гибридные параллельные системы: основные направления развития и принципы программирования.

Статические топологии вычислительных систем. Динамические топологии вычислительных систем. Высокопроизводительные кластеры, компоненты кластера, требования к сетевому соединению, типы сетей, Infiniband, инженерные системы.

Стек сетевых протоколов OSI/ISO: уровни и протоколы.

**Перечень примерных вопросов для подготовки к кандидатскому экзамену:**

1. Структура процессора, основные логические блоки: арифметико-логическое устройство, регистры, устройство управления, их назначение и виды. Взаимодействие процессора с памятью и внешними устройствами.
2. Цифровые сигнальные процессоры. Специализированные микропроцессорные контроллеры. Аппаратная реализация вычислительных алгоритмов в устройствах обработки сигналов.
3. Устройства ввода/вывода информации. Цифровой ввод/вывод информации общего назначения. Последовательный ввод/вывод информации (интерфейсы SPI, UART, I2C, USB). Аналоговый ввод/вывод информации.
4. Методы и алгоритмы оценки надежности последовательных вычислительных систем. Способы повышения надежности вычислительных систем и их элементов.
5. Радиационная стойкость элементов вычислительных систем. Виды воздействующих излучений: корпускулярные, квантовые, волновые. Обратимые и остаточные эффекты. Пути повышения радиационной стойкости элементов.
6. Архитектура процессорных элементов и сложно-функциональных блоков. Понятия система на кристалле и сети на кристалле. Особенности реализации систем и сетей на кристалле в виде заказной СБИС (ASIC) и на базе ПЛИС (FPGA).
7. Качественные и количественные методы повышения производительности вычислительных систем. Методы измерения производительности вычислительных систем.
8. Интегральные микросхемы запоминающих устройств (ПЗУ, ОЗУ, ППЗУ). Сравнительная оценка характеристик RAM, SRAM, DRAM, PROM и др.
9. Принципы различных классификаций архитектур вычислительных систем. Классификация архитектур вычислительных систем по способу доступа к памяти. Классификация архитектур вычислительных систем по системе команд (набору инструкций).
10. CISC и RISC процессорные архитектуры, особенности и отличия. Архитектура MIPS, RISC-V, ARM. Перспективы развития процессорных архитектур.
11. Технико-экономические и эксплуатационные характеристики вычислительных систем.
12. Повышение производительности вычислительных систем за счет совершенствования архитектуры системы команд.
13. Устройства ввода/вывода информации. Цифровой ввод/вывод информации общего назначения. Последовательный ввод/вывод информации (интерфейсы SPI, UART, I2C, USB). Аналоговый ввод/вывод информации.
14. Сравнение процессоров с архитектурой CISC, RISC, VLIW, EPIC. Архитектура многоядерных процессоров. Матричные вычислительные системы.
15. Типовые элементы вычислительных систем: логические элементы, дешифраторы, шифраторы, преобразователи кодов, сумматоры, триггеры, мультиплексоры, демультиплексоры, цифровые компараторы, умножители двоичных чисел, шинные формирователи, арифметико-логические устройства.
16. Параллельные системы с распределенной памятью. Аппаратное обеспечение систем с распределенной памятью. Общие принципы программирование систем с распределенной памятью.
17. Классификация процессоров. Системы команд процессоров. Архитектура суперкомпьютеров. Классификация архитектур суперкомпьютеров.
18. Основные группы вычислительных систем класса MIMD с разделяемой памятью: симметричные мультипроцессорные системы (SMP), параллельные векторные системы (PVP) и системы с неоднородным доступом к памяти (NUMA).
19. Проектирование устройств на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС) и программируемых устройств типа систем на кристалле.
20. Компьютерная шина: виды, назначение, особенности организации. Компьютерная шина для объединения модулей в системе на кристалле (AMBA, Avalon, Wishbone, OCP).
21. Перспективные направления исследований для создания элементной базы нового поколения вычислительных систем и их элементов.
22. Показатели качества функционирования вычислительных систем: производительность, надежность, технико-экономическая эффективность. Методы и алгоритмы оценки производительности для вычислительных систем со структурной избыточностью.
23. Методы измерения производительности вычислительных систем. Пути уменьшение количества тактов (CPI) на одну команду. Пути увеличение количества выполненных за такт команд (IPC). Ускорители вычислений.
24. Общие принципы программирование систем с распределенной памятью. Реализация суперскалярной системы на примере NVidia CUDA: принципы построения программ, классы памяти системы, блоки потоков, синхронизация потоков, оптимизация.
25. Вычислительные системы класса SIMD: векторные, матричные, ассоциативные и системы с систолической структурой.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

**Основная литература:**

1. Харрис С.Л., Харрис Д. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера: RISC-V / пер. с англ. В. С. Яценкова, А. Ю. Романова; под ред. А. Ю. Романова. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 810 с.
2. Мелехин, В.Ф. Вычислительные машины, системы и сети: учебник для Вузов / В.Ф. Мелехин, Е.Г., Павловский - М.: Академия. 2013. - 384с.
3. Таненбаум, Э. Архитектура компьютера. СПб. Питер, 2014. – 811 с.
4. Орлов С.А., Цилькер Б.Я. Организация ЭВМ и систем: [учеб. для вузов по направлению "Информатика и вычисл. техника", 2-е изд.] / С.А. Орлов, Б.Я. Цилькер. - СПб. : Питер, 2011. - 688 с. - (Учебник для вузов).
5. Хорошевский, В.Г. Архитектура вычислительных систем: Уч. пособие для Вузов / В.Г.Хорошевский - М.: Изд. МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2008.-519 с.

**Дополнительная литература:**

1. Немудров В.Г., Мартин Г. Системы-на- кристалле. Проектирование и развитие. – М.: Техносфера, 2004. -216 с.
2. Стин Э. Квантовые вычисления / Пер. с англ. И.Д. Пасынкова. - Ижевск: Научно-издательский центр "Регулярная и хаотическая динамика", 2000. - 111 с.
3. [Валиев К. А.](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B5%D0%B2,_%D0%9A%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BB%D1%8C_%D0%90%D1%85%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87), Кокин А.А. Квантовые компьютеры: надежды и реальность. — Ижевск: РХД, 2004. — 320 с.
4. Черкесов Г. Н. Надежность аппаратно-программных комплексов. Учебное пособие. — СПб.: Питер, 2005. — 479 с.
5. Максимов Н. В., Партыка Т. Л., Попов И. И. Архитектура ЭВМ и вычислительных систем: Учебник. — М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2005. — 512 с.

**Блок 3 «Компьютерное моделирование и автоматизация проектирования»**

**Тема 1. Основные понятия и задачи автоматизированного проектирования**

Понятие инженерного проектирования. Принципы системного подхода. Основные понятия системотехники. Иерархическая структура проектных спецификаций и иерархические уровни проектирования. Стадии проектирования. Содержание технических заданий на проектирование. Классификация параметров, используемых при автоматизированном проектировании. Типовые проектные процедуры.

Этапы жизненного цикла промышленных изделий. Структуры САПР. Разновидности САПР. Понятие о CALS-технологии. Основные стандарты. Этапы проектирования автоматизированных систем (АС).

**Тема 2. Техническое обеспечение (ТО) САПР**

Требования к ПО САПР. Типы вычислительных систем (ВС), используемых в САПР. Основные параметры и классификация ЭВМ. Режимы функционирования ВС. Классификация параллельных ЭВМ. Конвейерные вычислительные системы. Векторные (матричные) вычислительные системы. Многопроцессорные вычислительные системы. Системы с неоднородным доступом к памяти (NUMA). Кластерные системы. Производительность параллельных вычислительных систем.

Система команд ЭВМ. Структурная схема процессора. Процессоры с сокращенным набором команд (RISC). Специализированные процессоры, их роль в САПР. Назначение, параметры и классификация арифметико-логических устройств. Микропрограммное управление. Принципы действия управляющих автоматов с хранимой в памяти и «жесткой» логикой. Варианты реализации системы прерываний.

Общие сведения и классификация устройств памяти. Иерархическая структура памяти ЭВМ. Уровни кэш-памяти. Оперативные ЗУ, разновидности, особенности, режимы работы. Накопители на магнитных и оптических носителях, параметры, классификация, режимы работы.

Каналы ввода-вывода данных: функции, параметры, классификация, структура, примеры реализации. Организация интерфейса ввода-вывода. Аппаратура рабочих мест в САПР.

Типы вычислительных сетей. Методы доступа в локальных вычислительных сетях. Маркерные методы доступа. Разновидности сетей Ethernet. Сеть Token Ring. Высокоскоростные локальные сети. Характеристики и типы каналов передачи данных. Радиоканалы. Аналоговые каналы. Виды модуляции. Цифровые каналы. Помехоустойчивое кодирование данных. Методы уплотнения каналов. Организация дуплексной связи. Функции сетевого и транспортного протоколов. Протокол ТСР. Протокол IP. Протоколы управления в сетях TCP/IP. Адресация в Internet. Сети АТМ. Функции сетевых операционных систем. Системы распределенных вычислений. Проблемы информационной безопасности. Схемы шифрования. Электронная подпись. Алгоритмы хеширования данных. Алгоритмы аутентификации пользователей.

**Тема 3. Математическое обеспечение анализа проектных решений**

Требования к математическим моделям и численным методам анализа в САПР. Классификация математических моделей, используемых в САПР.

Примеры математических моделей с распределенными параметрами. Стационарные и нестационарные задачи. Краевые условия. Метод конечных разностей, способы аппроксимации производных и типы сеток. Явные и неявные разностные схемы. Метод конечных элементов.

Математические модели элементов и систем с сосредоточенными параметрами (на макроуровне). Представление структуры объектов в виде графов и эквивалентных схем. Примеры компонентных и топологических уравнений в механических, электрических, гидравлических, тепловых системах. Характеристика методов формирования математических моделей систем на макроуровне. Узловой метод.

Выбор методов анализа статических состояний и переходных процессов на базе аналоговых моделей. Основные методы решения систем алгебраических уравнений, используемые в САПР. Методы разреженных матриц. Основные методы решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений, используемые в САПР. Проблема собственных значений и анализ устойчивости по Ляпунову. Численно-аналитические методы исследования динамических систем. Организация вычислительного процесса в универсальных программах анализа на макроуровне. Методы анализа в частотной области. Методы гармонического баланса и рядов Вольтерра для анализа нелинейных моделей в частотной области. Методы многовариантного анализа.

Множества и отношения. Операции над множествами. Функции. Отношения эквивалентности. Отношения порядка. Нечеткие множества. Алгебраические структуры. Морфизмы. Алгебры с одной и двумя операциями. Векторные пространства. Решетки. Булевы функции. Алгебра булевых функций. Нормальные формы. Декомпозиция булевых функций. Минимизация булевых функций. Дифференцирование булевых функций. Конечнозначные логики. Логические исчисления. Устойчивость, покрытия, паросочетания. Вложение графов.

Математические модели дискретных устройств. Синхронные и асинхронные модели. Методы обнаружения рисков сбоя в логических схемах. Методы логического моделирования. Организация вычислительного процесса при смешанном (аналого-цифровом) моделировании. Средства представления моделей дискретных устройств на поведенческом и регистровом уровнях. Примеры поведенческих и структурных описаний устройств на RTL (VHDL/Verilog).

Аналитические модели систем массового обслуживания (СМО). Уравнения Колмогорова. Имитационное моделирование СМО. Моделирование случайных величин. Обработка результатов имитационного эксперимента. Событийный метод моделирования. Разновидности сетей Петри. Анализ сетей Петри.

Классификация геометрических моделей. Представление кривых с помощью сплайновой аппроксимации, метода Безье, В-сплайнов. Аналитические модели поверхностей. Параметрические модели поверхностей. Составные модели поверхностей. Сплайновые модели кривых и поверхностей. Модели Безье для кривых линий и поверхностей. Составные модели поверхностей. Модели объемных тел и плоских фигур. Кусочно-аналитические и алгебрологические модели геометрических объектов. Модели объемных тел: каркасные, поверхностные, твердотельные. Теоретико-множественные операции над базовыми элементами формы. Алгоритмы и программное обеспечение, необходимые для решения метрических и позиционных задач геометрического моделирования.

**Тема 4. Математическое обеспечение синтеза проектных решений**

Классификация и подходы к постановке задач синтеза проектных решений. Структурный и параметрический синтез. Критерии оптимальности. Множество Парето. Задачи оптимизации с учетом допусков. Классификация методов математического программирования. Методы одномерной оптимизации. Градиентные методы. Методы прямого поиска (конфигураций, Розенброка, сопряженных направлений, деформируемого многогранника). Методы случайного поиска. Необходимые условия экстремума. Методы поиска условных экстремумов. Методы штрафных функций. Метод проекции градиента.

Представление множества альтернатив в задачах структурного синтеза. Морфологические таблицы и альтернативные графы. Задача линейного назначения. Методы отсечения Гомори. Венгерский алгоритм. Задача коммивояжера. Цикл Гамильтона. Задача о покрытии. Задачи маршрутизации транспортных средств. Задачи синтеза расписаний. Метод ветвей и границ. Методы распространения ограничений. Методы локальной оптимизации и поиска с запретами. Динамическое программирование. Принцип оптимальности Беллмана. Уравнение Беллмана. Генетические алгоритмы. Примеры решения логистических задач с помощью генетических алгоритмов. Постановка задач компоновки и размещения оборудования, трассировки соединений. Методы топологического синтеза. Примеры алгоритмов решения задач компоновки, размещения, трассировки.

Параллельные алгоритмы. Меры параллелизма. Синхронизация параллельно выполняющихся процессов. Параллельные алгоритмы решения систем алгебраических уравнений. Параллельные алгоритмы решения задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений. Параллельные алгоритмы нелинейного программирования. Языки программирования искусственного интеллекта и языки представления знаний.

**Тема 5. Программное, лингвистическое и информационное обеспечение САПР**

Разработка программного обеспечения САПР. Выбор инструментальных средств: основные понятия о базовых языках программирования и СУБД.

Визуальные среды программирования. Проектирование приложений. Технология ActiveX. Концепция открытых систем: DCOM, CORBA.

Инструментальные средства концептуального проектирования автоматизированных систем. Среды быстрой разработки приложений. Типы CASE‑систем. Методики IDEF0, IDEF3, IDEF1X. Унифицированный язык моделирования UML, методики проектирования объектно-ориентированных систем на базе UML. Компонентно-ориентированные технологии.

Основные функции и типовой состав программно-методических комплексов САПР в машиностроении и радиоэлектронике. Назначение, функции и примеры систем управления проектными данными (PDM).

Разновидности и характеристики современных операционных систем (ОС). Характеристики стандартных графических средств: AUTOCAD и аналогичные графические пакеты.

Использование методов искусственного интеллекта в САПР. Архитектура экспертных систем.

Распределение информационные системы. Методы фрагментации и распределения данных. Технология «клиент-сервер».

Информационные хранилища. Проектирование информационных хранилищ: схемы «звезда», «снежинка», «звезда-снежинка».

Основные понятия теории формальных грамматик. Классы формальных грамматик. Контекстно-зависимые и контекстно-независимые грамматики. Методы трансляции, схемы построения трансляторов. Синтаксические диаграммы.

Особенности управления распределенными базами данных и системы управления распределенными базами данных. Стандарты на обмен данными между подсистемами САПР.

Организация программного обеспечения САПР. Технологии структурного и объектно-ориентированного программирования. Конструирование абстрактных типов данных. Иерархия классов. Базовые и производные классы. Простое и множественное наследование. Перегрузка методов и операций обработки данных в классах объектов. Абстрактные классы. Полиморфная обработка данных. Виртуальные интерфейсы. Параметризация типов данных в классах и функциях. Типовые структуры описания абстрактных данных (массив, стек, очередь, двоичное дерево). Программирование математических структур (матрицы и конечные графы). Методы программной обработки данных. Итерация и рекурсия. Сортировка и поиск. Криптообработка и архивация данных. Перечисление и упорядочивание комбинаторных объектов. Ввод-вывод данных.

**Перечень примерных вопросов для подготовки к кандидатскому экзамену:**

1. Этапы жизненного цикла промышленных изделий. Инженерное проектирование: основные этапы.
2. Интегрированная информационная модель продукта и ее частные модели: маркетинговая, конструкторская, технологическая, сбытовая, эксплуатационная.
3. Классификация САПР. Структура САПР. Разновидности САПР. Примеры САПР в области электроники.
4. Каркасное, поверхностное, твердотельное 3D-моделирование: виды, принципы, инструменты.
5. Стадии разработки САПР. Содержание технических заданий на разработку.
6. Компоненты математического обеспечения САПР.
7. Требования к математическим моделям и численным методам анализа в САПР. Классификация математических моделей, используемых в САПР.
8. Особенности информационного обеспечения САПР.
9. Применение CASE-технологий при разработке программного обеспечения САПР.
10. Математические модели дискретных устройств. Синхронные и асинхронные модели.
11. Методы логического моделирования. Методы обнаружения рисков сбоя в логических схемах.
12. Средства представления моделей дискретных устройств на поведенческом и регистровом уровнях.
13. Аналитические модели систем массового обслуживания (СМО). Уравнения Колмогорова.
14. Имитационное моделирование СМО. Данные для имитационного эксперимента. Обработка результатов имитационного эксперимента.
15. Сети Петри. Анализ сетей Петри.
16. Разработка математических моделей систем на макроуровне. Представление структуры объектов в виде графов и эквивалентных схем. Аналогии уравнений и фазовых переменных в математических моделях систем разной физической природы.
17. Математические модели с распределенными параметрами. Стационарные и нестационарные задачи.
18. Множества и отношения. Нормальные формы. Декомпозиция и минимизация булевых функций.
19. Основные методы решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений, используемые в САПР.
20. Численно-аналитические методы исследования динамических систем.
21. Организация вычислительного процесса в универсальных программах анализа на макроуровне.
22. Методы гармонического баланса и рядов Вольтерра для анализа нелинейных моделей в частотной области.
23. Требования к техническому обеспечению САПР. Типы вычислительных систем, используемых в САПР.
24. Назначение, характеристика и классификация современных операционных систем.
25. Организация интерфейса ввода-вывода. Каналы ввода-вывода данных: функции, параметры, классификация, структура, примеры реализации. Аппаратное обеспечение рабочих мест в САПР.
26. Типы вычислительных сетей. Методы доступа в локальных вычислительных сетях.
27. Каналы передачи данных: типы, характеристики. Аналоговые каналы. Цифровые каналы.
28. Микропрограммное управление. Принципы действия управляющих автоматов с хранимой в памяти и «жесткой» логикой. Варианты реализации системы прерываний.
29. Протоколы TCP/IP. Технология АТМ.
30. Системы распределенных вычислений. Функции сетевых операционных систем.
31. Проблемы информационной безопасности. Схемы шифрования. Электронная подпись. Алгоритмы аутентификации пользователей.
32. Инструментальные средства проектирования автоматизированных систем. CASE-средства. Язык UML.
33. Распределенные информационные системы. Технология «клиент-сервер».
34. Управление хранением и использованием данных в САПР. СУБД. Распределенные базы данных. Схемы «звезда», «снежинка», «звезда-снежинка».
35. Организация программного обеспечения САПР. Технологии структурного и объектно-ориентированного программирования.
36. Синтез проектных решений. Структурный и параметрический синтез. Парето-оптимальные решения.
37. Методы математического программирования. Примеры использования в САПР.
38. Динамическое программирование многошаговых процессов принятия решений. Принцип оптимальности Беллмана. Уравнение Беллмана.
39. Генетические алгоритмы. Примеры решения логистических задач с помощью генетических алгоритмов.
40. Концепция, технология и стандарты CALS.

# УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

**Литература основная**

1. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования. Учебник для вузов.- М: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.
2. Головицына М.В. Информационные технологии проектирования радиоэлектронных средств. Учебник. 2008.
3. Харрис С. Л., Харрис Д. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера: RISC-V / Пер. с англ.: В. Яценков, А. Ю. Романов; под общ. ред.: А. Ю. Романов. М.: ДМК Пресс, 2021.

**Литература дополнительная**

1. Берлинер Э.М. САПР в машиностроении. М. Форум, 2008.
2. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике: Пер.с англ. - М.: Мир, 1975. - 541с.
3. Батищев Д. И. Методы оптимального проектирования. – М.: Радио и связь, 1984г. – 248с.
4. Советов Б.Я. Моделирование систем Изд. 7-е. – М.: Юрайт, 2012. – 343 с.
5. Бененсон З. М. и др. Моделирование и оптимизация на ЭВМ радиоэлектронных устройств. – М.: Радио и связь, 1981г. – 272с.
6. Романов А. Ю., Панчул Ю., Романова И. И., Антонов А., Барабанов А., Данчек Ч., Жельнио С., Иванец С., Кудрявцев И., Телятников А., Шуплецов М. Цифровой синтез: практический курс / Под общ. ред.: А. Ю. Романов, Ю. Панчул. М. : ДМК Пресс, 2020.

**Периодические издания**

* CADmaster
* САПР и графика
* Информационные технологии
* Информационные технологии в проектировании и производстве
* Автоматика и телемеханика
* Системы управления и информационные технологии
* Автоматизация в промышленности
* Автоматизация. Современные технологии.
* Сборник трудов Открытой конференции ИСП РАН им. В.П. Иванникова
* Сборник трудов конференции «Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем»

**Интернет-ресурсы**

* Научная электронная библиотека (http://elibrary.ru)
* Электронно-библиотечная система (http://elanbook.com)
* Электронно-библиотечная система (http://ibooks.ru)

**ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ АСПИРАНТОВ**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Тип контроля** | **Форма контроля** | **3 год** | **Параметры** | |
| Текущий | не предусмотрен | - | |  |
| Итоговый | Кандидатский экзамен | + | | Устный экзамен по вопросам программы. |

# ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина базируется на самостоятельной внеаудиторной работе аспирантов.

**ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Форма проведения испытания:**

Экзамен проводится в устной форме с обязательным оформлением ответов на вопросы в письменном виде.

**Структура кандидатского экзамена:**

Кандидатский экзамен включает в себя ответы на вопросы экзаменационного билета и ответы на вопросы по теме научно-квалификационной работы (диссертации) экзаменуемого. Экзаменационный билет содержит два вопроса из настоящей программы. В ходе ответа экзаменационная комиссия может задавать уточняющие вопросы.

**Оценка уровня знаний (баллы):** каждый вопрос оценивается по десятибалльной шкале. Итоговая оценка выставляется по 10-балльной шкале по следующему принципу пересчета:

8-10 баллов – «Отлично»;

6-7 баллов - «Хорошо»;

4-5 баллов - «Удовлетворительно»;

0-3 балла - «Неудовлетворительно».

|  |  |
| --- | --- |
| **Критерии оценивания** | Баллы |
| Ответ полный без замечаний, продемонстрированы знания специальной дисциплины | 10-8 |
| Ответ полный, с незначительными замечаниями | 6-7 |
| Ответ неполный, существенные замечания | 4-5 |
| Ответ на поставленный вопрос не дан. | 0-3 |