

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
электроники, фотоники и  
молекулярной физики  
А.С. Батурин**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Элементная база управляющих вычислительных систем
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра микро- и наноэлектроники
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Дифференцированный зачет

2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 45 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 15 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: О.А. Тельминов, канд. техн. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры микро- и наноэлектроники 03.03.2023

## Аннотация

Курс «Элементная база управляющих вычислительных систем» посвящен формированию компетенций в области изучения архитектуры процессора, построения встраиваемых вычислительных систем, а также изучению применению элементной базы в их составе.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- формирование знаний, умений и навыков в области архитектуры микропроцессора MIPS, разработки встраиваемых систем от формирования требований до завершения этапа отладки.

#### Задачи дисциплины

- изучение и программирование архитектуры процессора MIPS;
- изучение и разработка требований, технического задания, плана тестирования и приемо-сдаточных испытаний для встраиваемых систем;
- изучение и применение микроконтроллеров, датчиков, устройств отображения информации исполнительных устройств, модулей связи;
- разработка учебного проекта на макете встраиваемой системы.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- архитектуру процессора MIPS;
- основы технической документации для разработки и апробации встраиваемых систем;
- структуру, состав и принципы функционирования модулей микроконтроллера и периферии.

уметь:

- программировать процессор с архитектурой MIPS;
- программировать микроконтроллеры и периферийные устройства.

владеть:

- основами сопряжения элементов встраиваемой системы, навыками программирования и применением средств отладки.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

		Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.
--	--	---

№	Тема (раздел) дисциплины	Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Управляющая вычислительная система: схема, классификация элементной базы, этапы встраивания в объект управления	2			1
2	Индустрия 4.0: киберфизические системы, факты и последствия	2			1
3	Транзисторы и логические элементы. Виды логических схем	2			1
4	Булева алгебра, СДНФ, СКНФ. Карты Карно. Примеры	2			1
5	Временные характеристики логического элемента. Импульсные помехи. Элементы памяти	2			1
6	Конечные автоматы Мура и Мили	2			1
7	Реализация операций сложения, вычитания, умножения, деления. АЛУ	2			1
8	Матрицы памяти. ПЛИМ, ПЛИС	2			1
9	Архитектура MIPS. Конвейеры. Принципы разработки	2			1
10	Машинный язык MIPS. Часть 1	2			1
11	Машинный язык MIPS. Часть 2	2			1
12	Микроархитектура и 3 варианта реализации	2			1
13	Иерархия памяти и система ввода-вывода	2			1
14	Периферия вычислителя: АЦП, ЦАП, ШИМ, USB, PCI/PCIe, DDR, TCP/IP, SATA	2			1
15	Учебный проект на программном эмуляторе процессора с архитектурой MIPS	2			1
16	Требования к встраиваемым вычислительным системам и основы их проектирования	2			1
17	Датчики физических величин	2			1
18	Беспроводные сенсорные сети	2			1
19	Проводные интерфейсы	2			1
20	Электромагнитные исполнительные устройства	2			1
21	Устройства отображения информации	1			1
22	Обзор отладочной платы с микроконтроллером MSP430F5529. Часть 1.	1			1
23	Обзор отладочной платы с микроконтроллером MSP430F5529. Часть 2.	1			1
24	Основы программирования и отладки на языке Си	1			1
25	Формирование технического задания на разрабатываемое устройство. Методы тестирования программного обеспечения и аппаратуры. Разработка плана тестирования и приемо-сдаточных испытаний	1			1

26	Учебный проект на MSP-EXP430F5529			15	5
Итого часов		45		15	30
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

##### Семестр: 1 (Осенний)

1. Управляющая вычислительная система: схема, классификация элементной базы, этапы встраивания в объект управления

Обобщенная схема управляющей вычислительной системы. Классификация элементной базы управляющих вычислительных систем. Виды управляющих вычислительных систем по конфигурации, назначению и применению. Этапы встраивания управляющей вычислительной системы в объект управления: ИУС, распределенные ИУС, встроенные вычислительные системы, сетевые встроенные системы, киберфизические системы

2. Индустрия 4.0: киберфизические системы, факты и последствия

Аграрная и четыре промышленных революции. Проблемы киберфизических систем. IoT: описание и причины появления. Факты и последствия индустрии 4.0: ожидания потребителей; продукты, усовершенствованные данными, коллаборативные инновации, новые операционные модели компаний, существенные изменения

3. Транзисторы и логические элементы. Виды логических схем

Построение логических элементов на основе транзисторов. Логические уровни для входов и выходов. Передаточная функция логического элемента. Типовые уровни напряжений [LV]TTL, [LV]CMOS. Нагрузочные характеристики HCMOS в зависимости от температуры. Расчет количества потребителей для выходов логического элемента.

4. Булева алгебра, СДНФ, СКНФ. Карты Карно. Примеры

Логическая схема как черный ящик. Узлы и элементы логической схемы. Виды логических схем: комбинационная и последовательностная логика. Правила комбинационной логики. Булевы уравнения, дополнение, литерал, импликанта, минтерм, макстерм. Приоритет логических операций. СДНФ и СКНФ. Аксиомы (A1-A5) и теоремы (T1-T12) булевой алгебры. Применение теорем булевой алгебры. Упрощение схем: перемещение инверсии. Схема приоритета: таблица истинности, условное графическое обозначение. Состояния Z и X. Правила работы с картами Карно. Пример для декодера 7-сегментного индикатора, мультиплексора и демультиплексора

5. Временные характеристики логического элемента. Импульсные помехи. Элементы памяти

Временные характеристики логического элемента: задержка распространения, задержка реакции. Причины и компенсация импульсных помех. Правила разработки последовательностной схемы. Бистабильная схема, RS-защелка, D-защелка, D-триггер. Правила разработки синхронной последовательностной схемы. Бистабильная схема, RS-защелка, D-защелка, D-триггер.

6. Конечные автоматы Мура и Мили

Конечные автоматы Мура и Мили, применение для светофорного регулирования перекрестка: диаграмма состояния, таблицы, схема, временная диаграмма. Сравнение конечных автоматов Мура и Мили: диаграмма состояний, таблицы, схемы, временные диаграммы. Проектирование сложных конечных автоматов: этапы и применение на примере добавления режима "Парад" в светофорном регулировании перекрестка.

## 7. Реализация операций сложения, вычитания, умножения, деления. АЛУ

Метастабильность D-триггера. Расчет периода для последовательностных схем - худший и лучший случаи. Временной анализ. Реализация операции сложения: полусумматор, полный сумматор, сумматор с распространяющимся переносом, сумматор с последовательным переносом, сумматор с ускоренным переносом, префиксный сумматор. Сравнение времени вычисления видов сумматоров. Реализация устройства вычитания, операции сравнения (равенство, меньше чем). Арифметико-логическое устройство: схема, таблица с битами управления и функциями. Логика работы схем логического, арифметического и циклического сдвига. Схемотехника сдвиговых регистров с сигналом shift amount. Умножители: принцип действия и схемотехника. Делитель 4x4 ( $A/B = Q + R/B$ ).

## 8. Матрицы памяти. ПЛИМ, ПЛИС

Счетчики. Сдвиговые регистры. Матрицы памяти DRAM, SRAM, ROM (включая реализацию LUT). Глубина и ширина в матрицах памяти. Битовые ячейки. Виды ROM: программируемые плавкими перемычками, стираемые программируемые, электрически стираемые программируемые, флеш-память. ПЛИМ (точечная нотация), FPGA (на примере Altera Cyclone IV; маршрут проектирования в Quartus).

## 9. Архитектура MIPS. Конвейеры. Принципы разработки

Архитектура MIPS. 5 уровней RISC-конвейера: временная диаграмма, схема электрическая принципиальная. 3 вида конвейеров. 3 вида конфликтов конвейеров. Иллюстрация принципов разработки MIPS: единообразие, реализация типовых случаев, меньше -- быстрее, компромисс: 3 типа команд с примерами на asm и представлением значений полей и машинных кодов.

## 10. Машинный язык MIPS. Часть 1

Машинный язык MIPS: PC, декодирование команды, логические команды (включая непосредственную адресацию), команды сдвига на константное и переменное количество разрядов, генерация констант, получение результатов в командах умножения и деления. Машинный язык MIPS: условные (2) и безусловные (3) переходы. Преобразование высокоуровневых конструкций в asm. Загрузка байта с расширением знака и без, сохранение байта. Доступ к массивам по индексу, доступ в цикле. Вызов функции, соглашение о вызове функции, кадр стека, примеры. Регистры, сохраняемые вызываемой и вызывающей функциями.

## 11. Машинный язык MIPS. Часть 2

Машинный язык MIPS: множественные вызовы функций, рекурсивная функция, действия вызываемой и вызывающей функций. 5 режимов адресации с примерами. Этапы получения исполняемого файла из исходных. Карта памяти MIPS. Структура программы на asm с примером. Псевдокоманды.

## 12. Микроархитектура и 3 варианта реализации

Asm MIPS: директивы, типы данных, пример. Регистры, типы и перечень команд. Функция syscall, зависимость от значения параметра 1 ... 8, 10 ... 16. Микроархитектура: операционный автомат = управляющий автомат и тракт данных. 3 варианта реализации архитектуры. Параметры CPI и IPC. Архитектурное состояние и набор команд. Процесс разработки микроархитектуры. Тракт данных, управляющий автомат, расчет быстродействия для 3-х вариантов. Сравнение быстродействия трех типов микроархитектур. Микроархитектура с обработкой исключений. Улучшенные микроархитектуры: длинные конвейеры, предсказание условных переходов, суперскалярные процессоры, процессор с внеочередным выполнением команд, переименование регистров, SIMD, многопоточность, мультипроцессоры.

### 13. Иерархия памяти и система ввода-вывода

Память: диаграмма стоимость-емкость-быстродействие. 2 вида локальности. Уровни промаха и попадания, среднее время доступа к памяти. Проектирование кэша: 3 ключевых вопроса. Кэш прямого отображения, наборно-ассоциативный и полностью ассоциативный: разработка и сравнение характеристик. График уровней промаха. Виртуальная память. Виртуальные адреса, защита памяти. Термины виртуальной памяти. Трансляция адресов. Таблица страниц. Буфер TLB.

### 14. Периферия вычислителя: АЦП, ЦАП, ШИМ, USB, PCI/PCIe, DDR, TCP/IP, SATA

Периферийные устройства, обеспечивающие связь вычислителя с внешним миром: принцип работы, примеры использования.

### 15. Учебный проект на программном эмуляторе процессора с архитектурой MIPS

Программирование учебной задачи на языке ASM.

Семестр: 2 (Весенний)

### 16. Требования к встраиваемым вычислительным системам и основы их проектирования

Техническое задание. Переход от ТЗ к разработке. Этапы проектирования встраиваемых вычислительных систем.

### 17. Датчики физических величин

Классификация, принцип действия, погрешности и примеры применения датчиков физических величин.

### 18. Беспроводные сенсорные сети

Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, WiMax, NB-IoT, LPWAN.

### 19. Проводные интерфейсы

GPIO, UART, SPI, eSPI, I2C, SMBus, LVDS, HDMI, I2S, RS-232C, RS-422A, RS-485

### 20. Электромагнитные исполнительные устройства

Реле, соленоиды, двигатели (щеточные, бесщеточные, шаговые), сервоприводы. Устройство и подключение к вычислителю.

### 21. Устройства отображения информации

Светодиоды, светодиодные матрицы, жидкокристаллические индикаторы: устройство и подключение

## 22. Обзор отладочной платы с микроконтроллером MSP430F5529. Часть 1.

Состав и назначение элементов отладочной платы.

## 23. Обзор отладочной платы с микроконтроллером MSP430F5529. Часть 2.

Микроконтроллер MSP430F5529: состав и описание работы основных модулей.

## 24. Основы программирования и отладки на языке Си

Работа с памятью, организация циклов, ветвлений, функций

25. Формирование технического задания на разрабатываемое устройство. Методы тестирования программного обеспечения и аппаратуры. Разработка плана тестирования и приемо-сдаточных испытаний

Формирование технического задания на разрабатываемое устройство. Методы тестирования программного обеспечения и аппаратуры. Разработка плана тестирования и приемо-сдаточных испытаний.

Основы написания технической документации и применение методик тестирования

## 26. Учебный проект на MSP-EXP430F5529

Формирование индивидуального задания. Декомпозиция на задачи.

Сопряжение элементной базы для построения встраиваемой системы

Программирование и отладка.

Программирование и отладка. Разработка тестов и тестирование.

Имитация приемо-сдаточных испытаний.

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Необходимое оборудование для лекций: учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система). Программный эмулятор микропроцессора с архитектурой MIPS. Отладочная плата MSP EXP430F5529 и соответствующая среда разработки.

Обеспечение самостоятельной работы: доступ в сеть Интернет, доступ к рекомендованной литературе.

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Шваб, Клаус Четвертая промышленная революция / Клаус Шваб. — М.: : Эксмо, 2021. — 208 с.
2. Харрис, Д. М. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера / Д. М. Харрис, С. Л. Харрис. — 2-е изд. — М.: ДМК-Пресс, 2018. — 792 с.

Дополнительная литература

1. Valvano, J.W. Embedded Microcomputer Systems: Real Time Interfacing; Third edition; Cengage Learning: Stamford, CT, USA, 2012; ISBN 9781111426255.

## 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются

**8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Не предусмотрены

**9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.



**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра микро- и нанoeлектроники
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчик:** О.А. Тельминов, канд. техн. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Элементная база управляющих вычислительных систем» обучающийся должен:

### знать:

- архитектуру процессора MIPS;
- основы технической документации для разработки и апробации встраиваемых систем;
- структуру, состав и принципы функционирования модулей микроконтроллера и периферии.

### уметь:

- программировать процессор с архитектурой MIPS;
- программировать микроконтроллеры и периферийные устройства.

### владеть:

- основами сопряжения элементов встраиваемой системы, навыками программирования и применением средств отладки.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

В начале каждого занятия проводится краткий опрос по теме предыдущего занятия

## 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к дифференцированному зачету в осеннем семестре:

1. Управляющая вычислительная система: схема, классификация элементной базы, этапы встраивания в объект управления.
2. Индустрия 4.0: киберфизические системы, факты и последствия.
3. Транзисторы и логические элементы. Виды логических схем.
4. Булева алгебра, СДНФ, СКНФ. Карты Карно. Примеры.
5. Временные характеристики логического элемента. Импульсные помехи. Элементы памяти.
6. Конечные автоматы Мура и Мили.
7. Реализация операций сложения, вычитания, умножения, деления. АЛУ.
8. Матрицы памяти. ПЛМ, ПЛИС.
9. Архитектура MIPS. Конвейеры. Принципы разработки.
10. Машинный язык MIPS.
12. Микроархитектура и 3 варианта реализации.
13. Иерархия памяти и система ввода-вывода.
14. Периферия вычислителя: АЦП, ЦАП, ШИМ, USB, PCI/PCIe, DDR, TCP/IP, SATA.

Вопросы к дифференцированному зачету в весеннем семестре:

1. Требования к встраиваемым вычислительным системам и основы их проектирования.
2. Датчики физических величин.
3. Беспроводные сенсорные сети Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, WiMax, NB-IoT, LPWAN
4. Проводные интерфейсы GPIO, UART, SPI, eSPI, I2C, SMBus, LVDS, HDMI, I2S, RS-232C, RS-422A, RS-485.
5. Электромагнитные исполнительные устройства: реле, соленоиды, двигатели (щеточные, бесщеточные, шаговые), сервоприводы. Устройство и подключение к вычислителю.
6. Устройства отображения информации: светодиоды, светодиодные матрицы, жидкокристаллические индикаторы: устройство и подключение
7. Микроконтроллер MSP430F5529: состав и описание работы основных модулей.
8. Фрагменты программ на Си для управления микроконтроллером и периферией.

#### Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

#### **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Оценка за семестр в осеннем семестре выставляется по результатам устного дифференцированного зачета.

Оценка за семестр в весеннем семестре выставляется по результатам устного дифференцированного зачета и выполнения задания по лабораторным работам (среднее арифметическое).