

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Беспалов Владимир Владимирович  
Должность: Ректор МИЭТ  
Дата подписания: 12.10.2023 16:05:13  
Уникальный программный ключ:  
ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f736d76c8f8bea882b8d602

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский университет  
«Московский институт электронной техники»

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
\_\_\_\_\_ А.Г. Балашов  
\_\_\_\_\_ 2023 г.  
М.П.



## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Микропроцессорные средства и системы»

Направление подготовки – 02.03.01 «Математика и компьютерные науки»,  
Направленность (профиль) – «Компьютерная математика и математическое  
моделирование»

Москва 2023

## 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательных программ:

**Компетенция ПК-4 «Способен осуществлять выбор платформ и инструментальных программно-аппаратных средств для реализации информационных, управляющих и вычислительных систем» сформулирована на основе профессионального стандарта 06.028 «Системный программист».**

**Обобщенная трудовая функция А/6–«Разработка компонентов системных программных продуктов».**

**Трудовая функция А/01.6– «Разработка драйверов устройств».**

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения подкомпетенций
ПК-4.МСиС Способен применять знания современных микропроцессорных архитектур и систем при разработке программно-аппаратного обеспечения систем обработки данных	Выбор платформ и программно-аппаратных средств для реализации вычислительных систем обработки и анализа данных	<b>Знания:</b> - языков описания цифровой аппаратуры VerilogHDL. - методов моделирования и способов задания тестовых воздействий цифровых узлов. <b>Умения:</b> - проводить синтез цифровых блоков в современной системе автоматизированного проектирования. - моделировать разработанные цифровые блоки с целью оценки их работоспособности и временных характеристик. <b>Опыт</b> в проектировании цифровых устройств с программным управлением.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы.

Входные требования к дисциплине – необходимы компетенции в области цифровой схемотехники и дискретной математике.

## 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Курс	Семестр	Общая трудоёмкость (ЗЕ)	Общая трудоёмкость (часы)	Контактная работа			Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная аттестация
				Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
3	6	5	180	48	32	-	64	Экз(36)

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
Модуль 1 Функциональные модули процессора	10	8	-	18	Защита лабораторных работ
					Тестирование
					Проверка выполнения индивидуального задания
					Устный опрос
Модуль 2 Архитектура и микроархитектура процессора	16	12	-	18	Защита лабораторных работ
					Проверка выполнения индивидуального задания
					Тестирование
					Устный опрос
Модуль 3 Процессорные системы	14	12	-	18	Защита лабораторных работ
					Тестирование
					Устный опрос
					Проверка выполнения индивидуального задания
Модуль 4 Примеры и оценка эффективности процессорных систем	8		-	10	Проверка выполнения индивидуального задания
					Устный опрос

#### 4.1. Лекционные занятия

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	2	История развития процессорной техники, поэтапный обзор эволюции вычислительных систем. Концепция машины с хранимой в памяти программой и уровни абстракции вычислительной системы.
	2	2	Обобщенная структура процессора. Устройство и принцип работы

		программируемых логических интегральных схем. Основные синтаксические конструкции языка описания аппаратуры Verilog HDL.
3	2	Основы цифровой арифметики, разработка цифровых сумматоров с последовательным, ускоренным и префиксным переносами. Два подхода к реализации арифметико-логических устройств.
4	2	Реализация аппаратных блоков последовательного и параллельного умножения и деления. Кодирование чисел в форматах с плавающей точкой: IEEE754, Posit. Аппаратная реализация базовых арифметических операций над числами в формате IEEE754.
5	2	Строение стандартных ячеек памяти: защелки, триггеры, регистры. Построение адресуемых структур: регистровый файл, память. Конечные автоматы и некоторые распространенные примеры таких функциональных устройств. Разбор архитектуры и микроархитектуры примитивного программируемого устройства.
2	6	Понятие архитектуры системы команд. Особенности архитектуры RISC-V и её языка ассемблера. Базовый набор целочисленных команд RV32I и псевдоинструкции. Форматы кодирования инструкций и способы адресации операндов.
	7	Примеры трансляции основных синтаксических конструкций языков высокого уровня в язык ассемблера RISC-V: условные операторы, циклы, вызовы подпрограмм, передача сложных структур в качестве аргумента. Карта памяти.
	8	Синтез процессора с одноктактной микроархитектурой, поддерживающий набор инструкций RV32I. Анализ полученного решения и оценка эффективности.
	9	Синтез процессора с многотактной микроархитектурой, поддерживающий набор инструкций RV-32I. Классификация и способы построения устройств управления с жесткой структурой и микропрограммным управлением. Анализ полученного многотактного процессора, оценка его эффективности и сравнение с одноктактной реализацией.
	10	Синтез процессора с конвейерной микроархитектурой, поддерживающей набор инструкций RV32I. Анализ полученного решения, оценка эффективности и сравнение с одноктактной и многотактной реализациями.
	11	Классификация конфликтов конвейерных систем и способы их минимизации. Виды и способы построения блоков предсказания переходов.
	12	Методы повышения производительности конвейеризированных систем. Построение суперскалярных процессоров с внеочередным исполнением команд (алгоритм Томасуло) и блоком переименовывания регистров.
	13	Виды и классификация архитектур по месту расположения операндов, сложности кодирования инструкций и способам реализации условных переходов. Классификация команд процессора по функциональному

			назначению и способам адресации операндов. Обзор коммерческих архитектур на примере x86 и ARM.
3	14	2	Прерывания и исключения в процессорных системах. Основные характеристики и способы реализации подсистем прерывания. Пример реализации подсистемы прерывания для одноктактного процессора с архитектурой RISC-V.
	15	2	Система памяти. Классификация, виды, используемые технологии построения и основные характеристики систем памяти. Иерархия памяти. Статические и динамические запоминающие устройства.
	16	2	Кэш-память. Классификация, виды, основные характеристики и способы построения кэш-памяти. Стратегии замены данных. Оценка эффективности использования кэш-памяти.
	17	2	Устройство управления памятью. Способы организации виртуальной памяти. Аппаратная поддержка операционных систем и виртуальных машин в процессорах. Реализация поддержки системных вызовов.
	18	2	Параллелизм уровня потоков. Когерентность кэш-памяти в многоядерных системах. Реализация когерентности кэш в алгоритмах MSI и MESI. Ложный обмен.
	19	2	Организация обмена данными в процессорных системах. Интерфейсы передачи данных и шинный обмен. Способы организации арбитража и повышения эффективности шинного обмена.
	20	2	Способы построения и организации систем ввода-вывода с совместным и выделенным адресным пространством. Реализации подключения и опроса периферийных устройств. Процессоры и каналы ввода-вывода информации.
4	21	2	Примеры современных архитектур микроконтроллеров на примере PIC и ARM. Операционные системы для встраиваемых систем. Способы программирования и отладки микроконтроллеров, использование JTAG
	22	2	Архитектура современных производительных систем общего назначения на примере x86 и высокопроизводительных процессоров ARM. Особенности включения и работы персонального компьютера.
	23	2	Классификация параллельных вычислительных систем. Архитектуры графических процессоров. Системы с общей и разделяемой памятью. Кластерные параллельные системы. Нетрадиционные вычислители: машина, управляемая потоком данных, систолические вычислительные системы.
	24	2	Способы и подходы к вычислению эффективности вычислительных систем. Закон Амдала и разбор нескольких примеров. Перспективы развития процессорных систем и их современные проблемы.

#### 4.2. Практические занятия

*Не предусмотрены*

### 4.3. Лабораторные работы

№ модуля дисциплины	№ лабораторной работы	Объем занятий (часы)	Наименование работы
1	1	4	Знакомство с языком описания аппаратуры VerilogHDL. Разработка блока сумматора с последовательным переносом.
	2	4	Разработка арифметико-логического устройства и тестового окружения для проверки его работы.
2	3	4	Реализация блоков регистрового файла и памяти данных, использование полученных модулей для реализации примитивного программируемого устройства. Подготовка тестового окружения.
	4	4	Реализация основного дешифратора команд для одноктактного процессора с архитектурой RISC-V. Написание программного обеспечения.
	5	4	Разработка тракта данных процессора и объединение его с основным дешифратором. Написание и проверка индивидуального задания на языке ассемблера RISC-V.
3	6	4	Реализация блока загрузки и сохранения данных в памяти.
	7	4	Реализация подсистемы ввода вывода и добавление периферийных устройств
	8	4	Программирование системы на языке C, выполнение индивидуального задания

### 4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	5	Изучение методических материалов лабораторной работы 1-2
	8	Выполнение самостоятельных заданий по тематике лабораторных работ
	5	Подготовка к тестированию 1
2	5	Изучение методических материалов лабораторной работы 3-5
	8	Выполнение самостоятельных заданий по тематике лабораторных работ
	5	Подготовка к тестированию 2
3	5	Изучение методических материалов лабораторной работы 6-8
	8	Выполнение самостоятельных заданий по тематике лабораторных работ
	5	Подготовка к тестированию 3
4	5	Изучение дополнительной литературы по тематике лекций и лабораторных работ курса.
	5	Выполнение самостоятельных заданий по тематике лабораторных работ

#### 4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

*Не предусмотрены*

### 5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы студентов в составе УМК дисциплины (ОРИОКС: <https://orioks.miet.ru/>):

- Методические рекомендации
- Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ
- Ссылки на литературу по всей дисциплине
- Образовательная технология ко всей дисциплине
- Для подготовки к тестированиям и в качестве дополнительной литературы [http://emirs.miet.ru/oroks-miet/upload/ftp/pub/orioks3/2020/11/TSifrovaya\\_shemotehnika\\_i\\_arhitektura\\_kompyutera\\_-\\_Harris\\_i\\_Harris.pdf](http://emirs.miet.ru/oroks-miet/upload/ftp/pub/orioks3/2020/11/TSifrovaya_shemotehnika_i_arhitektura_kompyutera_-_Harris_i_Harris.pdf)
- Для повторения материалов лекций и выполнения индивидуальных заданий <https://github.com/MPSU/APS-info>
- Материалы для подготовки к лабораторным работам <https://github.com/MPSU/APS-labs>

### 6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

#### Литература

1. Микропроцессорные средства и системы [Текст] : Курс лекций / Д.Н. Беклемишев [и др.]; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ"; Под ред. Ю.В. Савченко. - М. : МИЭТ, 2013. - 288 с.
2. Цифровая схемотехника [Текст] : Учеб. пособие / Е.П. Угрюмов. - 2-е изд., перераб. и доп. - СПб. : БХВ-Петербург, 2005. - 788 с.
3. Моделирование микропроцессорных систем на базе программируемых логических интегральных схем с использованием Verilog HDL и САПР Quartus II [Текст] : Учеб. пособие по курсу "Микропроцессорные средства и системы" / Д.Н. Беклемишев [и др.]; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ"; Под ред. А.Л. Переверзева. - М. : МИЭТ, 2014. - 100 с.

### 7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. IEEE/ET Electronic Library (IEL) = IEEE Xplore : Электронная библиотека. - USA ; UK, 1998-. - URL: <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp> (дата обращения : 28.10.2020). - Режим доступа: по подписке.
2. Лань : Электронно-библиотечная система Издательства Лань. - СПб., 2011-. - URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.10.2020). - Режим доступа: для авторизованных пользователей МИЭТ
3. Юрайт : Электронно-библиотечная система : образовательная платформа. - Москва, 2013 - . - URL: <https://urait.ru/> (дата обращения : 05.11.2020); Режим доступа: для авторизованных пользователей МИЭТ.

## 8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе реализации дисциплины используется **смешанное обучение**, в основе которого лежит интеграция технологий традиционного и электронного освоения компетенций, в частности за счет использования таких инструментов как видеолекции, онлайн тестирование, взаимодействие со студентами в электронной образовательной среде.

Освоение образовательной программы обеспечивается ресурсами электронной информационно-образовательной среды ОРИОКС.

Для взаимодействия студентов с преподавателем используются сервисы обратной связи: раздел ОРИОКС «Домашние задания», электронная почта, сервисы видеоконференцсвязи и социальные сети.

В процессе обучения при проведении занятий и для самостоятельной работы используются **внутренние электронные ресурсы** в формах тестирования в ОРИОКС и MOODLe.

При проведении занятий и для самостоятельной работы используются **внешние электронные ресурсы** в формах электронных компонентов видео-сервисов:

Вводная лекция – <https://www.youtube.com/watch?v=Xtc7NkQUGrE>

Лекция о основных концепциях и используемых инструментах – <https://www.youtube.com/watch?v=oEsrRCdao9w>

Лекция про цифровую арифметику и арифметико-логические устройства – <https://www.youtube.com/watch?v=eXW6Q4jPkmQ>

Лекция про целочисленные операционные устройства и в формате с плавающей запятой – <https://www.youtube.com/watch?v=7YQWjSkhquI>

Лекция про строение стандартных ячеек памяти, конечные автоматы и программируемое устройство – <https://www.youtube.com/watch?v=Ca32opNonyw>

Лекция про архитектуру системы команд RISC-V её особенностях и ассемблере – <https://www.youtube.com/watch?v=wMhUfqjBj5M>

Лекция про особенности программирования под архитектуру системы команд RISC-V – <https://www.youtube.com/watch?v=y1mNFvm8OZY>

Лекция про синтез процессора с одноктактной микроархитектурой с архитектурой RISC-V – <https://www.youtube.com/watch?v=JINvkVwDsVs>

Лекция про синтез процессора с многотактной микроархитектурой и устройства с микропрограммным управлением – <https://www.youtube.com/watch?v=xHefXrFNI0M>

Лекция про синтез конвейерного процессора с архитектурой RISC-V и сравнение разных микроархитектур – <https://www.youtube.com/watch?v=NmWBUrUmI3E>

Лекция про конфликты конвейерных систем и способы минимизации этих конфликтов – <https://www.youtube.com/watch?v=QvPsKVPO8SU>

Лекция про методы повышения производительности в конвейерных системах – <https://www.youtube.com/watch?v=OxfP81S2IRY>

Лекция, на которой классифицируются существующие архитектуры процессоров – <https://www.youtube.com/watch?v=EtuyBaWLPZQ>

Лекция про виды и способы реализации подсистем прерывания – <https://www.youtube.com/watch?v=JgSapmtTfwA>



## 9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
Учебная аудитория	Компьютер с мультимедийным оборудованием	Win pro от 7, Microsoft Office Professional Plus или Open Office, браузер (Firefox, Google Chrome); Acrobat reader DC
Учебная лаборатория	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в ОРИОКС; Учебные стенды DE-1 Altera.	Программное обеспечение Altera QuartusII 13.0 ModelSim-Altera Visual Studio Code
Помещение для самостоятельной работы	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ	Win pro от 7, Microsoft Office Professional Plus или Open Office, браузер (Firefox, Google Chrome); Acrobat reader DC

## 10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ

ФОС по подкомпетенции ПК-4.МиСС «Способен применять знания современных микропроцессорных архитектур и систем при разработке программно-аппаратного обеспечения систем обработки данных».

Фонды оценочных средств представлены отдельными документами и размещены в составе УМК дисциплины электронной информационной образовательной среды ОРИОКС// URL: <https://orioks.miet.ru/>

## 11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

### 11.1. Особенности организации процесса обучения

«Микропроцессорные средства и системы» – это дисциплина, изучающая виды и способы построения цифровых вычислительных систем, являющихся основой большинства производимых сегодня электронных устройств.

Дисциплина базируется на следующих, ранее изученных, предметах «Цифровая схемотехника», «Дискретная математика» (разделы «Функции алгебры логики» и

«Конечные автоматы»). Студенты должны освоить эти дисциплины для успешного усвоения материала.

В настоящем курсе «Микропроцессорные средства и системы» материал представлен четырьмя модулями. В первом модуле даются определения основным терминам и понятия, рассматриваются используемые инструменты и основы цифровой арифметики. Основная часть модуля посвящена рассмотрению аппаратной реализации функциональных блоков процессоров. Второй модуль посвящен вопросам архитектуры и микроархитектуры процессоров, рассматриваются различные способы построения программируемых устройств, дается их классификация. Третий модуль затрагивает вопросы организации процессорных систем: память, шины обмена данными, система ввода-вывода. В четвертом модуле разбираются конкретные примеры современных архитектур процессоров, процессорных систем и их реализации.

Материалы модулей инкапсулированы друг в друга, то есть, для изучения второго модуля, предварительно необходимо изучить первый, для изучения третьего – второй, для четвертого – третий. Теоретические занятия по модулям 1 – 3 закрепляются при проведении лабораторных работ. Настоятельно рекомендуется выполнить все лабораторные работы, но для получения допуска к экзамену необходимо выполнить минимум первые пять. Выполнение каждой лабораторной работы состоит из следующих составляющих:

- подготовка к лабораторной работе, изучение методических материалов;
- выполнение лабораторной работы (разработка устройства);
- проверка разработанного устройства с помощью тестового окружения или специальной программы;
- защита лабораторной работы
- выполнение индивидуального практического задания на тематику лабораторных работ

Фактическим результатом каждой проделанной лабораторной работы будет код, написанный на языке VerilogHDL. Обучающийся в будущем будет создавать сложные системы, описываемые тысячами строк кода. Для того чтобы в них легко было ориентироваться, допускать меньше ошибок и быстро отлаживаться, необходимо соблюдать стиль написания кода. Студент должен придерживаться любого стиля написания кода, но он должен быть единым во всех работах. В случаях полной функциональной работоспособности, но при отсутствии строго отформатированного кода оценка может быть снижена.

В процессе выполнения работы преподаватель помогает студентам, отвечая на их вопросы. Прежде, чем обратиться за помощью преподавателя, рекомендуется предварительно сформировать собственное мнение по интересующему вопросу, и, при необходимости, корректировать его, выслушав советы преподавателя. Не допускается завершать лабораторную работу досрочно, если не выполнены все задания и не получены необходимые результаты. Подтверждением работоспособности любой лабораторной работы является либо временная диаграмма, либо код программы, запускаемый на разработанном устройстве.

Для закрепления полученных знаний и в качестве практической составляющей подготовки студентов, ими выполняются самостоятельные работы по тематике лабораторных работ. Самостоятельные работы могут проходить как аудиторно (в аудитории для самостоятельной подготовки), так и дома. Самостоятельные работы включают в себя использование практических навыков при модификации программного

кода, написанного на лабораторных работах, но без помощи преподавателя и выполняются каждым студентом индивидуально.

Критерием оценки самостоятельных работ является совокупность данных, реализованных и продемонстрированных в каждом конкретном случае.

Полученные знания на лекциях, а также на лабораторных работах, используются студентами при выполнении индивидуального задания, а также при написании выпускных квалификационных работ. Опыт, полученный студентами при выполнении лабораторных работ, несомненно, пригодится при работе по специальности.

Для успешного прохождения всех контрольных мероприятий настоятельно рекомендуется конспектировать все лекции, даже если они даются в формате видеолекций. По всем вопросам, рассматриваемым на лекциях, можно дополнительно обратиться на консультации по расписанию. Так как порядок выполнения лабораторных работ является строгим, то при отсутствии на лабораторном занятии нагнать план можно либо самостоятельно дома, либо на консультациях между лабораторными работами.

### 11.2. Система контроля и оценивания

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется накопительная балльная система.

Баллами оцениваются: выполнение каждого контрольного мероприятия в семестре (в сумме 70 баллов) и сдача экзамена (30 баллов).

По сумме баллов выставляется итоговая оценка по предмету. Структура и график контрольных мероприятий доступен в ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

#### РАЗРАБОТЧИКИ:

Директор Института МПСУ, д.т.н.



\_\_\_\_\_/А.Л. Переверзев/


Старший преподаватель Института МПСУ



\_\_\_\_\_/А.М. Силантьев/

Рабочая программа дисциплины «Микропроцессорные средства и системы» по направлению 02.03.01 «Математика и компьютерные науки», направленность (профиль) – «Компьютерная математика и математическое моделирование» разработана в Институте МПСУ и утверждена на заседании УС Института МПСУ 19 января 2023 года, протокол № 5


Директор Института МПСУ

 /А.Л. Переверзев/

### ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ


Рабочая программа согласована с выпускающей кафедрой ВМ-1

Заведующий кафедрой ВМ-1

 /А.А. Прокофьев /

Рабочая программа согласована с Центром подготовки к аккредитации и независимой оценки качества

Начальник АНОК

 /И.М. Никулина /

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

/Директор библиотеки

 /Т.П. Филиппова /