

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского  
государственного университета

А.Д.Король

15 июля 2024

Регистрационный №УД- 13606/уч.



**СИСТЕМОТЕХНИКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ**

Учебная программа учреждения образования  
по учебной дисциплине для специальности:

**1 - 31 03 01 Математика (по направлениям)**

Направление специальности:

**1 - 31 03 01 – 04 Математика (научно-конструкторская деятельность)**

2024 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 03 01-2021 и учебного плана № G31-1-018/уч. от 25.05.2021.

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

**С.Е. Бухтояров**, доцент кафедры математической кибернетики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

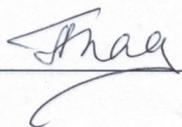
**М.И. Вашкевич**, профессор кафедры электронных вычислительных средств Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, доктор технических наук, доцент.

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой математической кибернетики БГУ  
(протокол № 11 от 31.05.2024);

Научно-методическим советом БГУ  
(протокол № 9 от 28.06.2024)

Заведующий кафедрой  
математической кибернетики



А.Л. Гладков

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Создание фирмой Intel первого микропроцессора в 1971 году положило начало эпохе всеобщей компьютеризации. За чуть более чем четвертьвековую историю микропроцессоры прошли поистине гигантский путь. Первый чип Intel 4004 работал на частоте 750 кГц, содержал 2300 транзисторов и стоил около \$200. Производительность его оценивалась в 60 тыс. операций в секунду. На сегодняшний день тактовая частота процессоров превысила 2 ГГц, количество транзисторов более 100 млн, пиковая производительность более 10 млрд операций в секунду.

В современных микропроцессорах воплощены самые передовые достижения научной и инженерной мысли. В условиях, свойственных данной отрасли производства, жесткой конкуренции и огромных капиталовложений выпуск каждой новой модели микропроцессора, так или иначе, связан с очередным научным, конструкторским, технологическим прорывом, хотя, в силу большой внутренней сложности, внутри одного семейства разработчики, по возможности, стараются использовать унифицированные наработанные решения и сохранять программную совместимость моделей.

Изучение такой интенсивно развивающейся и наукоемкой предметной области, как микроэлектроника и микропроцессорная техника, в частности, — задача весьма интересная и сложная, требующая постоянного совершенствования и пополнения получаемых знаний и знакомства со смежными научно-техническими областями. Для эффективного решения прикладных задач любой современный специалист, профессионально связанный с вычислительной техникой, должен иметь адекватное представление о состоянии и перспективах развития элементной базы.

В рамках дисциплины излагаются основные идеи, концепции и направления, определяющие развитие современных микроэлектронных технологий.

### **Цели и задачи учебной дисциплины**

**Целью** дисциплины «Системотехника аппаратно-программных систем» является изучение принципов организации современных компьютерных систем на всех уровнях, включая: уровень микрокоманд, системы команд, уровень архитектурной поддержки механизмов операционных систем.

**Основными задачами**, решаемыми в рамках изучения дисциплины «Системотехника аппаратно-программных систем», являются

- изучение принципов работы микроконтроллеров, микропроцессоров и систем на их основе;
- изучение архитектур современных вычислительных систем и используемых аппаратно-программных методов повышения их производительности;
- приобретение навыков низкоуровневого программирования на ассемблере.

**Место учебной дисциплины** в системе подготовки специалиста с высшим образованием: учебная дисциплина относится модулю «Аппаратно-программные системы» компонента учреждения высшего образования.

**Связи** с другими учебными дисциплинами. Изложение дисциплины базируется на знаниях, полученных студентами при изучении таких дисциплин как «Схемотехника», «Операционные системы и среды» и «Языки описания аппаратно-программных систем».

#### **Требования к компетенциям**

Освоение учебной дисциплины «Системотехника аппаратно-программных систем» должно обеспечить формирование следующих специализированных компетенций:

– Использовать специализированные средства проектирования для описания на языках высокого уровня, верификации и разработки управляющих программ аппаратно-программных систем;

– Разрабатывать аппаратно-программные системы для анализа и обработки цифровых и аналоговых сигналов.

В результате изучения дисциплины обучаемый должен:

#### **знать:**

- архитектуру микроконтроллеров и микропроцессоров;
- систему команд микроконтроллера 8051;
- организацию шин в вычислительных системах;
- аппаратную организацию памяти;
- современные способы повышения производительности микроконтроллеров и микропроцессоров;
- основы построения современных высокопроизводительных систем;

#### **уметь:**

- разрабатывать программы на ассемблере;
- организовывать взаимодействие микроконтроллера с внешними устройствами;

#### **владеть:**

- навыками программирования микроконтроллера 8051.

#### **Структура учебной дисциплины**

Дисциплина изучается в 7 семестре. В соответствии с учебным планом всего на изучение учебной дисциплины «Системотехника аппаратно-программных систем» отведено для очной формы получения высшего образования – 198 часов, из них 72 аудиторных часа, в том числе: лекции – 36 часов, практические занятия - 36 часов. **Из них:**

лекции – 36 часов, практические занятия - 30 часов, управляемая самостоятельная работа - 6 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 6 зачетных единиц.

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

# СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

## Раздел 1. Организация вычислительных систем

### *Тема 1.1. Становление и эволюция вычислительной техники*

### *Тема 1.2. Архитектура системы команд.*

Классификация архитектур системы команд. Типы и форматы операндов. Типы команд. Форматы команд.

### *Тема 1.3. Функциональная организация фон-неймановской ВМ.*

Функциональная схема фон-неймановской вычислительной машины. Микрооперации и микрокоманды. Цикл команды.

### *Тема 1.4. Организация шин.*

Типы шин. Иерархия шин. Физическая реализация шин. Выделенные и мультиплексируемые шины. Арбитраж шин. Синхронный и асинхронный протоколы шин. Методы повышения эффективности шин.

## Раздел 2. Архитектура микроконтроллера МК51

### *Тема 2.1. Структурная схема МК51.*

Выводы микросхемы; порты ввода-вывода; АЛУ: регистр временного хранения, регистр аккумулятора, аккумулятор, регистр В, регистр состояния программы PSW; счетчик команд, регистр счетчика команд, регистр указателя данных DPTR, буфер СК, схема инкремента, регистр адреса памяти; блок управления: устройство выработки временных интервалов, логика ввода-вывода, регистр команд, регистр управления потреблением, дешифратор команд, ПЛМ и логика управления ЭВМ; память данных; память программ; шина данных; шина адреса.

### *Тема 2.2. Организация памяти МК51.*

Память программ; память данных; младшие адреса ПП; внутреннее ОЗУ; регистры специальных функций; банки регистров; указатели банка рабочих регистров RS0 и RS1; прямо адресуемые биты.

### *Тема 2.3. Система команд МК51.*

Арифметические команды; логические команды с байтовыми переменными; команды передачи данных; команды битового процессора; команды ветвления программ и передачи управления ОМЭВМ; способы адресации операндов; способы адресации операндов: регистровая адресация, прямая адресация, косвенно-регистровая адресация, непосредственная адресация, косвенная адресация по сумме базового и индексного регистра.

### *Тема 2.4. Порты МК51.*

Направление ввода-вывода; адреса портов при байтовой и битовой адресации; структура разряда портов P0-P3; чтение и запись из порта; альтернативные функции выводов порта P3.

### *Тема 2.5. Блок таймеров/счетчиков МК51.*

Таймеры/счетчики TC0, TC1; регистры TCON, TMOD и их биты; режимы работы TC.

#### ***Тема 2.6. Система прерываний МК51.***

Источники прерываний; приоритет прерываний; начальный адрес процедуры обработки прерываний; вектор прерываний; алгоритм обработки прерываний; команда RETI.

#### ***Тема 2.7. Последовательный порт МК51.***

Запись и чтение в/из порта, режимы работы порта, скорость работы порта.

### **Раздел 3. Повышение производительности вычислительных систем.**

#### ***Тема 3.1. Конвейеризация вычислений.***

Конвейер команд. Конфликты в конвейере команд. Методы решения проблемы условного перехода. Предсказание переходов. Суперконвейерные процессоры.

#### ***Тема 3.2. RISC и CISC архитектуры.***

Основные черты RISC процессора. Преимущества и недостатки каждой архитектуры.

#### ***Тема 3.3. Суперскалярные процессоры.***

Особенности реализации. Аппаратная поддержка суперскалярных операций.

### **Раздел 4. Параллелизм в вычислительных системах.**

#### ***Тема 4.1. Уровни параллелизма.***

Параллелизм уровня заданий, программ, команд. Метрики параллельных вычислений. Законы Амдала и Густафсона. Классификация Флинна.

#### ***Тема 4.2. Память параллельных вычислительных систем.***

Модели архитектуры памяти: UMA, COMA, NUMA, CC-NUMA, NC-NUMA. Когерентность памяти мультипроцессорных систем, модели состоятельности. Аппаратные методы решения когерентности: совместно используемая кэш-память, некешируемые данные, широковещательная запись, протоколы наблюдения со сквозной и обратной записью, протокол MESI, протоколы на основе справочника.

#### ***Тема 4.3. Вычислительные системы класса MIMD.***

Мультипроцессоры и мультикомпьютеры. Симметричные мультипроцессорные системы. Основы кластерных и массивно-параллельных систем.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная (дневная) форма получения высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий  
(ДОТ)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСП	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>1</b>	<b>Организация вычислительных систем</b>	<b>8</b>	<b>6</b>				<b>2</b>	
1.1	Становление и эволюция вычислительной техники	2						
1.2	Архитектура системы команд	2						Устный опрос
1.3	Функциональная организация фон-неймановской ВМ.	2	6				2	Защита практической работы Контрольная работа № 1 по разделу 1.
1.4	Организация шин	2						Устный опрос
<b>2</b>	<b>Архитектура микроконтроллера МК51</b>	<b>16</b>	<b>24</b>					
2.1	Структурная схема МК51	2						Устный опрос
2.2	Организация памяти	2	4					Контрольная работа № 2 по теме 2.2
2.3	Система команд	4	4					Защита практической работы
2.4	Порты МК51	2	4					Защита практических работ

2.5	Блок таймеров/счетчиков	2	4					Защита практической работы
2.6	Система прерываний	2	4					Защита практической работы Контрольная работа № 3 по теме 2.7
2.7	Последовательный порт	2	4					Защита практических работ Коллоквиум
<b>3</b>	<b>Повышение производительности вычислительных систем</b>	<b>6</b>						
3.1	Конвейеризация вычислений	2						Экспресс-опрос
3.2	RISC и CISC архитектуры	2						Устный опрос
3.3	Суперскалярные процессоры	2						Устный опрос
<b>4</b>	<b>Параллелизм в вычислительных системах</b>	<b>6</b>					<b>4</b>	
4.1	Уровни параллелизма	2						Устный опрос
4.2	Память параллельных вычислительных систем	2					2	Устный опрос
4.3	Вычислительные системы класса MIMD	2					2	Устный опрос
	<b>ИТОГО</b>	<b>36</b>	<b>30</b>				<b>6</b>	

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Основная литература

1. Орлов С.А. Организация ЭВМ и систем: Учебник для вузов. 4-е изд. дополненное и переработанное / С.А. Орлов. - Санкт-Петербург : Питер, 2021. - 688 с. - URL: <https://ibooks.ru/bookshelf/21994/reading>.
2. Таненбаум, Э. Архитектура компьютера - 6-е изд. - Санкт-Петербург [и др.] : Питер, 2020. - 811 с. - URL: <https://ibooks.ru/bookshelf/361850/reading>.
3. Перепелица, А. А. Архитектура вычислительных систем : пособие для обучающихся учреждений высшего образования / А. А. Перепелица ; Академия управления при Президенте Республики Беларусь. - Минск : Академия управления при Президенте РБ, 2024. - 237 с.

### Дополнительная литература

4. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера. Дополнение по архитектуре ARM = Digital Design and Computer Architecture / Дэвид М. Харрис, Сара Л. Харрис; [пер. с англ. А. А. Слинкина ; науч. ред. Д. А. Косолюбов]. - Москва: ДМК Пресс, 2019. - 355 с.
5. Однокристальные микроЭВМ. / А.В.Боборыкин, Г.П.Липовецкий, Г.В.Литвинский и др. - М.: МИКАП, 1994. - 400 с.
6. Микроконтроллеры семейства MCS-51. Теория и практика: учебно-методическое пособие / Е. В. Моисейкин. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. - 144 с.
7. Структурная организация и архитектура компьютерных систем: Проектирование и производительность / Уильям Столлинкс; [Пер. с англ. и ред. В. Т. Тертышного]. - 5. изд. - М. [и др.]: Вильямс, 2002. - 892 с.
8. Архитектура компьютеров: учебник для студ. учреждений высш. образования по спец. "Информатика", "Прикладная информатика", "Прикладная математика" / М. К. Буза. - Минск: Вышэйшая школа, 2015. - 414 с.
9. Архитектура ЭВМ и систем: учебник для студ. вузов, обуч. по спец. "Информационные системы" / В. Л. Бройдо, О. П. Ильина. - Санкт-Петербург [и др.]: Питер, 2006. - 718с.
10. Организация ЭВМ = Computer Organization / К.Хамахер, З.Вранешич, С.Заки; Пер. с англ. О.Здир. - 5-е изд. - СПб. и др.: Питер, 2003. - 845с.
11. Архитектура компьютера и проектирование компьютерных систем / Д. Паттерсон, Дж. Хеннесси; [пер. с англ. Н. Вильчинского]. - 4-е изд. - Санкт-Петербург [и др.]: Питер, 2012. - 777 с.
12. Компьютерная архитектура. Количественный подход / Джон Л. Хеннесси, Дэвид А. Паттерсон; пер. с англ. М. В. Таранчевой под ред. А. К. Кима. - Изд. 5-е. - Москва: Техносфера, 2016. - 935 с.

13. Встраиваемые системы автоматики и вычислительной техники. Микроконтроллеры / А. Е. Васильев. - Москва: Горячая линия - Телеком, 2019. - 590 с.

14. Структурная и функциональная организация ЭВМ: учеб.-метод. комплекс для студ. спец. 1-40 02 01 "Вычислительные машины, системы и сети" / С. В. Калинин ; М-во образования РБ, УО "Полоцкий гос. ун-т". - Новополоцк: ПГУ, 2008. - 284 с.

15. Путилин В. Н. Системотехника аппаратно-программных систем / В. Н. Путилин, А. Я. Бельский. - Минск: БГУИР, 2017. - 281 с.

16. Борздов В. М. Системотехника аппаратно-программных систем / В. М. Борздов, А. Н. Сетун. - Минск: БГУ, 2020. - 235 с.

17. Архитектура ЭВМ и вычислительных систем: учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования, обучающихся по группе специальностей 09.00.00 "Информатика и вычислительная техника" / Н. В. Максимов, Т. Л. Партыка, И. И. Попов. - 5-е изд., перераб. и доп. - Москва: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2020. - 510 с.

### **Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки**

С целью текущего контроля знаний студентов предусматривается проведение устных опросов, экспресс-опросов, коллоквиума, контрольных работ и защит практических работ.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Системотехника аппаратно-программных систем» учебным планом предусмотрен **экзамен**.

Для формирования итоговой отметки по учебной дисциплине используется модульно-рейтинговая система оценки знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая система предусматривает использование весовых коэффициентов для текущей и промежуточной аттестации студентов по учебной дисциплине.

Формирование итоговой отметки в ходе проведения контрольных мероприятий текущей аттестации (примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущей аттестации в отметку при прохождении промежуточной аттестации):

- устный и экспресс-опросы – 10 %;
- защита практических работ – 70 %;
- коллоквиум – 10 %;
- контрольные работы – 10 %.

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе итоговой отметки текущей аттестации (рейтинговой системы оценки знаний) 30 % и экзаменационной отметки 70 %.

## Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

**Тема 1.3.** Функциональная организация фон-неймановской ВМ (2 ч.)

Задание. Разбить команду на последовательность микроопераций.

**Форма контроля** – защита практической работы.

**Тема 4.2.** Память параллельных вычислительных систем (2 ч.)

Задание. Проведите анализ алгоритмов и методов обеспечения когерентности параллельных вычислительных систем.

**Форма контроля** – устный опрос.

**Тема 4.3.** Вычислительные системы класса MIMD (2 ч.)

Задание. Проведите анализ особенностей систем с однородным и неоднородным доступом к памяти.

**Форма контроля** – устный опрос.

### Примерная тематика контрольных работ

- Контрольная работа № 1. «Цикл команды МК51»: Разбейте выполнение команды микроконтроллера МК51 на микрооперации.
- Контрольная работа № 2 «Виртуальный стенд EdSim»: создайте аппаратную конфигурацию в EdSim с заданным функционалом.
- Контрольная работа № 3 «Система прерываний МК51»: реализуйте программу с заданным функционалом с использованием внешних устройств и прерываний.

### Примерная тематика практических работ

1. Система прерываний МК51
2. Передача данных через УАПП
3. Прием данных через УАПП
4. Работа с подключенными к МК51 внешней клавиатурой
5. Работа с подключенными к МК51 внешними АЦП и ЦАП

### Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется *эвристический подход*, который предполагает:

- осуществление студентами личностно-значимых открытий окружающего мира;
- демонстрацию многообразия решений большинства профессиональных задач и жизненных проблем;

– творческую самореализацию обучающихся в процессе создания образовательных продуктов;

– индивидуализацию обучения через возможность самостоятельно ставить цели, осуществлять рефлексию собственной образовательной деятельности.

Наиболее эффективной предполагается следующая форма реализации эвристического подхода: решение сложных задач разбиваются на этапы, после чего обучаемые подводятся к самостоятельному определению действий на этапах.

При организации образовательного процесса используется также **практико-ориентированный подход**, который предполагает:

– освоение содержания образования через решение практических задач;

– приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;

– ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры;

– использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

### **Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся**

При изучении учебной дисциплины следует использовать размещенные на образовательном портале информационные ресурсы и методические указания при выполнении следующих рекомендуемых форм самостоятельной работы:

– поиск (подбор) и обзор литературы и электронных источников по индивидуально заданной теме дисциплины;

– выполнение домашнего задания;

– проведение научно-исследовательских работ для выполнения практических заданий;

– подготовка к участию в научных и научно-практических конференциях и конкурсах.

### **Примерный перечень вопросов к экзамену**

1. Структурная схема МК51.
2. Порты МК51.
3. Блок таймеров/счетчиков МК51.
4. Система прерываний МК51.
5. Последовательный порт МК51.
6. Организация памяти МК51.

7. Система команд МК51.
8. Форматы команд и способы адресации операндов.
9. Фон-неймановская ВС: функциональная схема.
10. Цикл выполнения команды с различными типами адресации.
11. Организация шин в ВС: типы шин, аспекты физической реализации шин.
12. Выделенные и мультиплексируемые шины.
13. Арбитраж шин.
14. Синхронный и асинхронный протоколы шины.
15. Иерархия запоминающих устройств. Блочная организация памяти.
16. Устройство управления в ВС. Микропрограммный автомат: с жесткой и программируемой логикой.
17. Конвейеризация вычислений. Конфликты в конвейере, решение проблемы условного перехода. Суперконвейерные процессоры.
18. Архитектуры с полным и сокращенным набором команд.
19. Суперскалярные процессоры: особенности реализации, аппаратная поддержка суперскалярных операций.
20. Архитектура микропроцессоров Intel x86. Микропроцессоры Pentium.
21. Внутрипроцессорный параллелизм: VLIW и EPIC процессоры.
22. Внутрипроцессорный параллелизм: многопоточность. Технология Hyperthreading в Pentium 4.
23. Параллельные вычислительные системы: уровни параллелизма, законы Амдала и Густафсона, классификация Флинна.
24. Модели архитектуры памяти параллельные вычислительных систем класса MIMD.
25. Мультипроцессоры и мультикомпьютеры.
26. Когерентность памяти мультипроцессорных систем.

**ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО**

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Учебная дисциплина не требует согласования			

Заведующий кафедрой  
доктор физ.-мат. наук, профессор



А.Л. Гладков

31 . ноя 2024 г.

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО  
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на \_\_\_\_ / \_\_\_\_ учебный год

№№ ПП	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
\_\_\_\_\_ (протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 202\_ г.)  
(название кафедры)

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_  
(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_  
(И.О.Фамилия)