

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

КАФЕДРА КОНСТРУИРОВАНИЯ ПРИБОРОВ И УСТАНОВОК

ОДОБРЕНО ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ
ГОРОДА МОСКВЫ "НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ КЛИНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ДИАГНОСТИКИ
И ТЕЛЕМЕДИЦИНСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЕПАРТАМЕНТА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ ГОРОДА
МОСКВЫ"

Протокол № 1

от 30.08.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

НИЗКОУРОВНЕВОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 15.03.06 Мехатроника и робототехника

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки, час.	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
7	2	72	0	0	48		24	0	
8	2	72	0	0	36		36	0	30
Итого	4	144	0	0	84	24	60	0	

АННОТАЦИЯ

Дисциплина посвящена низкоуровневой разработке программного обеспечения микропроцессорных систем. В первой части рассматриваются программная модель процессора, язык ассемблера, соглашение о вызовах, компоновка и запуск программы, исключения, прерывания, конкурентный доступ и аппаратная отладка. Во второй части изучаются цифровая и аналоговая периферия, последовательные интерфейсы, DMA, управление энергопотреблением, загрузчики, RTOS и обеспечение надёжности встроенного программного обеспечения

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины — формирование у студентов систематизированных знаний и практических навыков низкоуровневого программирования микропроцессорных систем, необходимых для анализа, разработки, компоновки, запуска и отладки программного обеспечения с учётом архитектуры процессора, периферийных модулей, требований реального времени и ограничений аппаратной платформы.

Задачи дисциплины:

- изучить программную модель процессора, основные классы машинных инструкций и способы адресации;
- освоить разработку программ и подпрограмм на языке ассемблера, работу со стеком и соглашением о вызовах;
- изучить совместное использование языков C и ассемблера;
- освоить структуру объектных файлов, процесс компоновки и размещение программы в памяти;
- изучить последовательность запуска системы, организацию исключений и прерываний;
- освоить способы безопасного конкурентного доступа к общим данным и аппаратным ресурсам;
- освоить программирование цифровой и аналоговой периферии, последовательных интерфейсов и DMA;
- изучить управление энергопотреблением, загрузчики, механизмы RTOS и способы повышения надёжности;
- освоить комплексную отладку и анализ временных характеристик микропроцессорной системы.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Для освоения дисциплины необходимы знания архитектуры вычислительных систем, алгоритмизации, языка C, основ цифровой электроники и принципов работы микроконтроллеров. Дисциплина развивает навыки разработки встраиваемого программного обеспечения и создаёт основу для изучения систем реального времени, надёжных встроенных систем и программно-аппаратных комплексов.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
проектно-конструкторский			
Разработка и сопровождение эксплуатации мехатронных, киберфизических и интеллектуальных робототехнических систем в атомной промышленности и других высокотехнологичных отраслях	Мехатронные, киберфизические и интеллектуальные робототехнические системы в атомной промышленности и их составляющие: а) информационно-сенсорные, исполнительные и управляющие модули мехатронных и робототехнических систем; б) математическое, алгоритмическое и программное обеспечение мехатронных и робототехнических систем; в) методы и средства проектирования, моделирования, экспериментального исследования мехатронных и робототехнических систем; г) научные исследования и производственные испытания мехатронных и робототехнических	ПК-6.1 [1] - Способен выполнять разработку и обеспечивать сопровождение эксплуатации мехатронных, киберфизических и интеллектуальных робототехнических систем в атомной промышленности и других высокотехнологичных отраслях <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-6.1[1] - Знать основные принципы и особенности разработки и сопровождения эксплуатации мехатронных, киберфизических и интеллектуальных робототехнических систем в атомной промышленности и других высокотехнологичных отраслях; У-ПК-6.1[1] - Уметь выполнять разработку и обеспечивать сопровождение эксплуатации мехатронных, киберфизических и интеллектуальных робототехнических систем в атомной промышленности и других высокотехнологичных отраслях; В-ПК-6.1[1] - Владеть навыками разработки и сопровождения эксплуатации мехатронных, киберфизических и

	систем		интеллектуальных робототехнических систем в атомной промышленности и других высокотехнологичных отраслях
--	--------	--	--

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (B17)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (B18)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (B19)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование творческого инженерного/профессионального мышления, навыков организации коллективной проектной деятельности (B22)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование культуры информационной безопасности (B23)

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>7 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	0/0/24		50	КИ-8	З-ПК-6.1, У-ПК-6.1, В-ПК-6.1
2	Второй раздел	9-16	0/0/24		50	КИ-16	З-ПК-6.1, У-ПК-6.1,

							В-ПК-6.1
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		0/0/48		100		
	Контрольные мероприятия за 7 Семестр				0	АттР	З-ПК-6.1, У-ПК-6.1, В-ПК-6.1
	<i>8 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	0/0/24		25	КИ-8	З-ПК-6.1, У-ПК-6.1, В-ПК-6.1
2	Второй раздел	9-12	0/0/12		25	КИ-12	З-ПК-6.1, У-ПК-6.1, В-ПК-6.1
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		0/0/36		50		
	Контрольные мероприятия за 8 Семестр				50	ЗО	З-ПК-6.1, У-ПК-6.1, В-ПК-6.1

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
ЗО	Зачет с оценкой
АттР	Аттестация разделов
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>7 Семестр</i>	0	0	48
1-8	Первый раздел	0	0	24
	Введение в низкоуровневое программирование. Архитектура и программная модель процессора	Всего аудиторных часов		
	Введите здесь подробное описание пункта Уровни представления программы. Состав микропроцессорной системы. Регистры, память и адресное пространство. Цикл выполнения инструкции. Машинный код, язык ассемблера, объектный файл и исполняемый образ	0	0	6
		Онлайн		
		0	0	0
	Основы программирования на ассемблере	Всего аудиторных часов		
	Синтаксис и директивы ассемблера. Способы адресации. Пересылка данных. Арифметические и логические операции. Флаги состояния. Условные и безусловные переходы. Реализация циклов и обработка массивов	0	0	6
		Онлайн		
		0	0	0
	Подпрограммы, стек и соглашение о вызовах. Совместное использование С и ассемблера	Всего аудиторных часов		
	Вызов и возврат из подпрограммы. Передача параметров и результатов. Стековый кадр. Сохранение регистров.	0	0	6
		Онлайн		
		0	0	0

	Листовые, вложенные и рекурсивные функции. Вызов ассемблерного кода из С и функций С из ассемблера			
	Объектные файлы, компоновка и размещение программы в памяти Секции, символы и релокации. Сценарий компоновщика и карта памяти. Размещение кода и данных во Flash-памяти и ОЗУ. Формирование исполняемого образа. Начальная настройка стека, секций .data и .bss	Всего аудиторных часов		
		0	0	6
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	Второй раздел	0	0	24
	Запуск системы. Исключения и прерывания Обработчик сброса и передача управления функции main. Таблица векторов. Вход в обработчик и возврат из него. Сохранение контекста. Приоритеты, маскирование и вложенность прерываний. Требования к обработчикам	Всего аудиторных часов		
		0	0	6
		Онлайн		
		0	0	0
	Регистры периферии и конкурентный доступ к аппаратным ресурсам Отображение периферии в память. Операции чтение–изменение–запись. Назначение volatile. Гонки данных и атомарность. Критические секции, временное запрещение прерываний, атомарные инструкции и барьеры памяти	Всего аудиторных часов		
		0	0	6
		Онлайн		
		0	0	0
	Низкоуровневая отладка микропроцессорных систем Аппаратные интерфейсы отладки. Точки останова и наблюдения. Пошаговое выполнение. Просмотр регистров, памяти и стека. Дизассемблирование. Анализ карты компоновки и сопоставление исходного и машинного кода	Всего аудиторных часов		
		0	0	6
		Онлайн		
		0	0	0
	Диагностика исключений и анализ временных характеристик Причины аварийных завершений, переполнение стека и некорректные обращения к памяти. Анализ сохранённого контекста. Измерение времени выполнения. Влияние оптимизации компилятора. Профилирование критических участков	Всего аудиторных часов		
		0	0	6
		Онлайн		
		0	0	0
	8 Семестр	0	0	36
1-8	Первый раздел	0	0	24
1	Программирование цифровой периферии Структура регистров периферийных модулей. Настройка линий ввода-вывода. Входы, выходы, альтернативные функции, подтягивающие резисторы. Обработка дребезга контактов. Безопасное изменение отдельных битов регистра	Всего аудиторных часов		
		0	0	3
		Онлайн		
		0	0	0
2 - 3	Таймеры, счётчики и последовательный интерфейс UART Источники тактирования таймеров, предделители, переполнение, сравнение и захват. Формирование PWM. Асинхронная передача данных, структура кадра UART, расчёт скорости, буферизация и обработка ошибок	Всего аудиторных часов		
		0	0	6
		Онлайн		
		0	0	0
4 - 5	Синхронные интерфейсы и преобразование сигналов Принципы работы SPI и I ² C, выбор устройства, подтверждение передачи и обработка ошибок шины. Аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразование, частота дискретизации, разрешение и источники	Всего аудиторных часов		
		0	0	6
		Онлайн		
		0	0	0

	погрешности			
6 - 7	DMA и событийная организация обмена данными Назначение контроллера прямого доступа к памяти. Источник, приёмник, размер и режим передачи. Кольцевые и двойные буферы. Совместная работа периферии, DMA и прерываний. Обработка переполнения и потери данных	Всего аудиторных часов		
		0	0	6
		Онлайн		
		0	0	0
8	Система тактирования и энергопотребление Источники тактового сигнала, делители и домены тактирования. Режимы пониженного энергопотребления. Остановка периферии, условия пробуждения и оценка компромисса между задержкой и энергопотреблением	Всего аудиторных часов		
		0	0	3
		Онлайн		
		0	0	0
9-12	Второй раздел	0	0	12
9	Загрузчики микроконтроллеров Назначение и структура загрузчика. Формат образа. Программирование Flash-памяти. Проверка целостности и совместимости. Передача управления приложению. Безопасное обновление и восстановление после сбоя	Всего аудиторных часов		
		0	0	3
		Онлайн		
		0	0	0
10	Операционные системы реального времени: задачи и планирование Назначение RTOS. Задачи и их состояния. Системный такт, задержки и тайм-ауты. Приоритетное планирование. Переключение контекста, требования к стеку задачи и оценка задержки реакции системы	Всего аудиторных часов		
		0	0	3
		Онлайн		
		0	0	0
11	Синхронизация и обмен данными в RTOS Семафоры, мьютексы, очереди сообщений и уведомления. Взаимодействие задач с обработчиками прерываний. Инверсия и наследование приоритетов. Организация доступа к аппаратным ресурсам	Всего аудиторных часов		
		0	0	3
		Онлайн		
		0	0	0
12	Надёжность, комплексная разработка и отладка системы реального времени Сторожевой таймер. Контроль границ стека и целостности данных. Тайм-ауты аппаратных операций. Диагностические журналы, безопасные состояния и восстановление после отказа. Интеграция периферии, DMA, прерываний и задач RTOS. Анализ загрузки процессора, задержек и использования памяти. Поиск взаимоблокировок и потерь событий. Оптимизация и проверка системы в предельных режимах	Всего аудиторных часов		
		0	0	3
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>7 Семестр</i>
1 - 2	Лабораторная работа 1 Исследование программной модели процессора и выполнения машинных инструкций
3 - 4	Лабораторная работа 2 Разработка программы обработки массива на языке ассемблера
5 - 6	Лабораторная работа 3 Разработка ассемблерной подпрограммы с вызовом из программы на языке С
7 - 8	Лабораторная работа 4 Формирование и размещение исполняемого образа программы в памяти
9 - 10	Лабораторная работа 5 Разработка кода запуска системы и обработчика прерывания
11 - 12	Лабораторная работа 6 . Организация безопасного доступа к регистру периферии и общим данным
13 - 14	Лабораторная работа 7 Исследование программы средствами низкоуровневой отладки
15 - 16	Лабораторная работа 8 Диагностика исключения и измерение времени выполнения программного фрагмента
	<i>8 Семестр</i>
1	Лабораторная работа 1 Настройка цифровых линий ввода-вывода для обработки нажатия кнопки
2	Лабораторная работа 2 Настройка таймера и UART для периодической передачи данных
3 - 4	Лабораторная работа 3 Организация обмена по SPI и I ² C и преобразования аналогового сигнала
5 - 6	Лабораторная работа 4 Разработка обмена данными с использованием DMA и двойной буферизации
7 - 8	Лабораторная работа 5 Исследование режимов тактирования и пониженного энергопотребления
9	Лабораторная работа 6 Разработка фрагмента загрузчика с проверкой целостности образа
10	Лабораторная работа 7 Разработка многозадачной программы с приоритетным планированием
11	Лабораторная работа 8 Организация синхронизации и обмена данными между задачами RTOS
12	Лабораторная работа 9 Исследование механизмов диагностики и восстановления системы реального времени

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В учебном процессе используются практические и проблемно-ориентированные методы обучения с применением информационных технологий. Предусматриваются разбор машинного и ассемблерного кода, анализ объектных файлов и карт компоновки, разработка низкоуровневых программ, исследование поведения системы с помощью аппаратного отладчика, исследование периферийных интерфейсов, DMA, конкурентного доступа, переключения задач и временных характеристик системы.

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)	Аттестационное мероприятие (КП 2)
ПК-6.1	З-ПК-6.1	АттР, КИ-8, КИ-16	ЗО, КИ-8, КИ-12
	У-ПК-6.1	АттР, КИ-8, КИ-16	ЗО, КИ-8, КИ-12
	В-ПК-6.1	АттР, КИ-8, КИ-16	ЗО, КИ-8, КИ-12

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-х балльной шкале	Отметка о зачете	Оценка ECTS
90-100	5 – «отлично»	«зачтено»	A
85-89	4 – «хорошо»		B
75-84			C
70-74			D
65-69	3 – «удовлетворительно»		E
60-64			
ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	«не зачтено»	F

Оценка «отлично» соответствует глубокому и прочному освоению материала программы обучающимся, который последовательно, четко и логически стройно излагает свои ответы, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответах материалы монографической литературы.

Оценка «хорошо» соответствует твердым знаниям материала обучающимся, который грамотно и, по существу, излагает свои ответы, не допуская существенных неточностей.

Оценка «удовлетворительно» соответствует базовому уровню освоения материала обучающимся, при котором освоен основной материал, но не усвоены его детали, в ответах присутствуют неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности.

Отметка «зачтено» соответствует, как минимум, базовому уровню освоения материала программы, при котором обучающийся владеет необходимыми знаниями, умениями и

навыками, умеет применять теоретические положения для решения типовых практических задач.

Оценку «неудовлетворительно» / отметку «не зачтено» получает обучающийся, который не знает значительной части материала программы, допускает в ответах существенные ошибки, не выполнил все обязательные задания, предусмотренные программой. Как правило, такие обучающиеся не могут продолжить обучение без дополнительных занятий.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Цель методических рекомендаций для студентов — организация последовательного освоения теоретических основ и практических методов низкоуровневого программирования микропроцессорных систем.

Учебно-методические материалы предоставляются преподавателем в электронном виде и включают конспекты по теории, примеры ассемблерного кода, практические задания и техническую документацию. Материалы курса следует использовать совместно с документацией на процессорное ядро, микроконтроллер и инструментальную цепочку.

При подготовке к практическому занятию необходимо изучить назначение рассматриваемых инструкций и механизмов, определить используемые регистры и области памяти, подготовить алгоритм и ожидаемые изменения состояния процессора.

Разработку программы рекомендуется выполнять поэтапно: сначала проверять отдельные инструкции и подпрограммы, затем анализировать стек и соглашение о вызовах, после чего переходить к компоновке, запуску и взаимодействию с аппаратными ресурсами.

При отладке следует сопоставлять исходный и дизассемблированный код, контролировать значения регистров, указателя стека и участков памяти, применять точки останова и наблюдения, а также фиксировать причины обнаруженных ошибок.

При работе с прерываниями и задачами RTOS необходимо учитывать конкурентный доступ к общим данным, минимизировать продолжительность критических секций и использовать предусмотренные архитектурой или операционной системой средства синхронизации.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Основное внимание при преподавании дисциплины следует сосредоточить на формировании знаний и практических навыков, необходимых для:

- анализа программной модели процессора и машинных инструкций;
- разработки подпрограмм на ассемблере с соблюдением соглашения о вызовах;
- анализа компоновки, размещения программы и последовательности запуска системы;
- разработки обработчиков прерываний и безопасной организации конкурентного доступа;
- программирования периферии, последовательных интерфейсов и DMA;
- применения аппаратных средств отладки, загрузчиков, RTOS и механизмов обеспечения надёжности.

Материал следует излагать последовательно: в первом семестре — от программной модели и инструкций к компоновке, запуску, прерываниям и отладке; во втором — от периферийных модулей и DMA к загрузчикам, RTOS и надёжности системы.

Теоретическое изложение рекомендуется сопровождать разбором листингов, объектных файлов, карт компоновки и содержимого памяти. Выбранная архитектура процессора должна использоваться последовательно во всех примерах и практических заданиях.

Практические занятия следует строить вокруг небольших проверяемых программ. Студент должен демонстрировать работу программы, объяснять изменения регистров и памяти и уметь локализовать ошибку средствами отладки.

При изучении конкурентного доступа необходимо отдельно показать, что квалификатор `volatile` не обеспечивает атомарность и синхронизацию. Следует рассмотреть гонки данных, критические секции, атомарные операции и взаимодействие обработчиков прерываний с задачами RTOS.

Контрольные задания должны проверять понимание принципов и способность кратко объяснять механизм работы, а не воспроизведение синтаксиса конкретного ассемблера без анализа.

Автор(ы):

Фоменко Богдан Александрович

