

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Максимов Алексей Борисович

Должность: директор департамента по образовательной политике

Дата подписания: 12.10.2026 17:00:48

Уникальный идентификатор:

8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**

«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

«Информационных технологий»



 / Д.Г. Демидов /

« 26 » февраль 2026 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Операционные системы микроконтроллеров**

Направление подготовки

09.03.01 Информатика и вычислительная техника

Профиль подготовки (образовательная программа)

«Программирование электронных устройств и систем»

Год начала обучения:

2026

Квалификация (степень) выпускника

Бакалавр

Форма обучения

Очная

Москва – 2026

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО и учебного плана Московского политехнического университета по направлению (специальности) 09.03.01 Информатики и вычислительная техника, по профилю подготовки Программирование электронных устройств и систем.

Разработчик(и):

к. ф.-м. н., доцент кафедры



/ Т.Т. Идиатуллов /

Согласовано:

Заведующий кафедрой
«СМАРТ-технологии»,
к.т.н., доцент



/ Е.В. Петрунина /

Содержание

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы
3. Структура и содержание дисциплины
 - 3.1 Виды учебной работы и трудоемкость
 - 3.2 Тематический план изучения дисциплины (по формам обучения)
 - 3.3 Содержание дисциплины
 - 3.4 Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий
 - 3.5 Тематика вопросов для самостоятельного изучения
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение
 - 4.1 Нормативные документы и ГОСТы
 - 4.2. Основная литература
 - 4.3 Дополнительная литература
 - 4.4 Электронные образовательные ресурсы
 - 4.5 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение
 - 4.6 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы
5. Материально-техническое обеспечение
6. Методические рекомендации
 - 6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения
 - 6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины
 - 6.3 Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
7. Фонд оценочных средств
 - 7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения
 - 7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения
- Приложение 1
- Приложение 2

1 Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

К основным целям освоения дисциплины «Операционные системы микроконтроллеров» следует отнести:

- формирование у обучающихся системного представления об операционных системах реального времени (ОСРВ) как основе построения современного встраиваемого программного обеспечения;
- ознакомление обучающихся с принципами организации, функционирования и методами построения операционных систем, применяемых на микроконтроллерных платформах с ограниченными вычислительными ресурсами;
- формирование навыков разработки, конфигурирования и отладки многозадачного программного обеспечения микроконтроллерных устройств, в том числе устройств умных пространств и Интернета вещей.

К основным задачам освоения дисциплины «Операционные системы микроконтроллеров» следует отнести:

- анализ состояния и тенденций развития операционных систем для встраиваемых и микроконтроллерных платформ, в том числе отечественного производства;
- изучение архитектурных особенностей микроконтроллеров, определяющих требования к операционной системе, и сравнение подходов bare-metal и ОСРВ;
- изучение механизмов планирования задач, синхронизации и межзадачного взаимодействия, управления памятью, обработки прерываний и времени в ОСРВ;
- приобретение навыков переноса (портирования), конфигурирования и настройки ОСРВ на конкретную аппаратную платформу;
- приобретение навыков отладки, трассировки и профилирования многозадачных приложений, оценки временных характеристик и энергопотребления встраиваемых систем.

Обучение по дисциплине «Операционные системы микроконтроллеров» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

Код и наименование компетенций	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-2. Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и программных средств, в том числе отечественного производства, и использовать их при	ИОПК-2.1. Знает современные информационные технологии и программные средства, основные виды и принципы работы операционных систем реального времени, способы их внедрения и интеграции во встраиваемые программно-аппаратные комплексы, способы оценки необходимости использования программных средств. ИОПК-2.2. Умеет использовать современные информационные технологии и программные

Код и наименование компетенций	Индикаторы достижения компетенции
решении задач профессиональной деятельности	средства при разработке программного обеспечения микроконтроллерных устройств; настраивать и конфигурировать операционные системы реального времени, проводить интеграцию программных модулей и оценивать необходимость использования программного средства для решения задачи. ИОПК-2.3. Владеет навыками применения современных информационных технологий и программных средств при решении задач в различных отраслях, внедрения и настройки операционных систем реального времени, оценки необходимости использования программных средств для решения задач.
ОПК-7. Способен участвовать в настройке и наладке программно-аппаратных комплексов	ИОПК-7.1. Знает основные языки программирования, операционные системы и оболочки, современные среды разработки программного обеспечения встраиваемых систем. ИОПК-7.2. Умеет составлять алгоритмы, писать и отлаживать коды на языке программирования, тестировать работоспособность программы, интегрировать программные модули в составе программно-аппаратного комплекса. ИОПК-7.3. Владеет языком программирования, методами отладки и тестирования работоспособности программы на целевой микроконтроллерной платформе.

2 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Операционные системы микроконтроллеров» относится к числу профессиональных учебных дисциплин базового цикла (Б1.1) основной образовательной программы бакалавриата по направлению подготовки 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника», профиль «Программирование электронных устройств и систем».

Изучение дисциплины опирается на знания, умения и навыки, приобретенные в предшествующих дисциплинах: «Основы информационно-коммуникационных технологий», «Архитектура вычислительных систем», «Программирование», «Электроника и схемотехника».

Дисциплина обеспечивает изучение дисциплин «Проектирование встраиваемых систем», а также выполнение курсовых работ и выпускной квалификационной работы.

3 Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, т.е. 108 академических часов, из них аудиторных — 54 часа, самостоятельная работа обучающихся — 54 часа. Форма промежуточной аттестации — экзамен в 5 семестре.

3.1 Виды учебной работы и трудоемкость

(по очной форме обучения)

№ п/п	Вид учебной работы	Количество часов	Семестр 5
1	Аудиторные занятия	54	54
	В том числе:		
1.1	Лекции	18	18
1.2	Семинарские/практические занятия	—	—
1.3	Лабораторные занятия	36	36
2	Самостоятельная работа	54	54
3	Промежуточная аттестация	экзамен	экзамен
	Итого:	108	108

3.2 Тематический план изучения дисциплины

(по очной форме обучения)

№ п/п	Разделы/темы дисциплины	Всего, час.	Лекции	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
1	Тема 1. Встраиваемые системы и операционные системы микроконтроллеров : основные понятия	12	2	4	6
2	Тема 2. Архитектура микроконтроллеров и модели организации встраиваемого ПО. Bare-metal и ОСРВ	12	2	4	6
3	Тема 3. Задачи и планирование в ОСРВ	12	2	4	6

№ п/ п	Разделы/темы дисциплины	Всего , час.	Лекци и	Лабораторны е занятия	Самостоятельна я работа
4	Тема 4. Синхронизация и межзадачное взаимодействие	16	2	6	8
5	Тема 5. Управление памятью и ресурсами в ОСРВ	12	2	4	6
6	Тема 6. Прерывания, время и драйверы периферийных устройств в ОСРВ	16	2	6	8
7	Тема 7. Современные операционные системы для микроконтроллеров	16	4	4	8
8	Тема 8. Отладка, профилирование, надежность и энергоэффективнос ть встраиваемого ПО	12	2	4	6
	Итого	108	18	36	54

3.3 Содержание дисциплины

3.3.1 Содержание лекционных занятий (18 часов)

Тема 1. Встраиваемые системы и операционные системы микроконтроллеров: основные понятия (2 ч)

Основные понятия и определения: встраиваемая система, киберфизическая система, микроконтроллер, система реального времени. Классификация встраиваемых систем и области их применения. Системы жесткого, мягкого и твердого реального времени. Требования к встраиваемому программному обеспечению: детерминированность, надежность, ограничения по памяти и энергопотреблению. История и тенденции развития операционных систем для микроконтроллеров. Обзор рынка ОСРВ, в том числе отечественных решений. Место ОС микроконтроллеров в архитектуре систем Интернета вещей и умных пространств.

Тема 2. Архитектура микроконтроллеров и модели организации встраиваемого ПО. Bare-metal и OSCPВ (2 ч)

Обобщенная структура микроконтроллера: ядро, память программ и данных, периферийные устройства, система тактирования. Архитектуры ARM Cortex-M, RISC-V, AVR, ESP32: регистровая модель, режимы работы процессора, привилегированный и непривилегированный режимы, основной и процессный указатели стека. Карта памяти, стартовый код, таблица векторов прерываний. Модели организации программного обеспечения: суперцикл (bare-metal), суперцикл с прерываниями, кооперативный планировщик, вытесняющая OSCPВ. Критерии выбора модели. Структура ядра OSCPВ и его минимальные функции. Инструментальные средства: компиляторы, среды разработки, системы сборки, отладочные интерфейсы SWD/JTAG.

Тема 3. Задачи и планирование в OSCPВ (2 ч)

Понятие задачи (потока) в OSCPВ. Блок управления задачами, стек задачи, контекст. Состояния задачи и диаграмма переходов: выполнение, готовность, блокировка, приостановка. Переключение контекста: программная реализация, обработчики PendSV и SysTick. Планировщик задач: вытесняющее, кооперативное и гибридное планирование. Алгоритмы планирования: циклический (Round-Robin), с фиксированными приоритетами, RMS, EDF. Квант времени и системный тик. Задача холостого хода (idle task) и перехватчики. Оценка времени отклика и времени переключения контекста. Понятие детерминированности планировщика.

Тема 4. Синхронизация и межзадачное взаимодействие (2 ч)

Проблема разделяемых ресурсов, критические секции, атомарные операции. Запрет прерываний и критические секции ядра. Двоичные и счетные семафоры, мьютексы, рекурсивные мьютексы. Инверсия приоритетов, наследование и потолок приоритета. Очереди сообщений, почтовые ящики, буферы потоков и сообщений. Группы событий и флаги событий. Прямые уведомления задач как облегченный механизм синхронизации. Взаимные блокировки (deadlock), их причины и способы предотвращения. Шаблоны проектирования многозадачных приложений: производитель — потребитель, центральный сервер ресурса, конвейер.

Тема 5. Управление памятью и ресурсами в OSCPВ (2 ч)

Организация памяти микроконтроллера: секции .text, .data, .bss, куча и стеки. Скрипт компоновщика. Статическое и динамическое выделение памяти в OSCPВ. Схемы распределения кучи (heap_1 — heap_5), фрагментация памяти и способы борьбы с ней. Пулы блоков фиксированного размера. Статическое создание объектов ядра. Контроль переполнения стека, «сторожевые» значения, оценка глубины стека. Блок защиты памяти (MPU) и построение защищенных приложений. Особенности использования кэш-памяти и когерентность данных при работе с DMA. Учет ресурсов и мониторинг занятости памяти в процессе работы.

Тема 6. Прерывания, время и драйверы периферийных устройств в OSCPВ (2 ч)

Система прерываний микроконтроллера: контроллер NVIC, приоритеты и вложенность прерываний, маскирование. Взаимодействие обработчиков прерываний и задач: безопасные вызовы API из прерываний, отложенная обработка, задачи-обработчики (deferred interrupt processing). Латентность прерываний и ее оценка. Организация времени: системный тик, программные таймеры, задержки и тайм-ауты, работа с часами реального времени. Прямой доступ к памяти (DMA) в многозадачных приложениях. Модель драйвера периферийного устройства в OCPB, уровни абстракции аппаратуры (HAL). Разработка драйверов интерфейсов UART, SPI, I2C, ADC. Стек протоколов и сетевые подсистемы в ОС микроконтроллеров.

Тема 7. Современные операционные системы для микроконтроллеров (4 ч)

Обзор и сравнительный анализ современных ОС для микроконтроллеров. FreeRTOS: архитектура, конфигурирование (FreeRTOSConfig.h), состав API, порты под различные архитектуры. Zephyr RTOS: модульная архитектура, система сборки, Kconfig и devicetree, подсистемы и драйверы. RIOT OS и Contiki-NG как операционные системы для Интернета вещей. Спецификация CMSIS-RTOS как унифицированный программный интерфейс. Коммерческие OCPB: embOS, ThreadX, QNX Neutrino (обзорно). Отечественные операционные системы реального времени и требования импортозамещения. Стандарты и сертификация ПО для ответственных применений. Критерии выбора ОС для проекта. Портирование ядра OCPB на новую аппаратную платформу.

Тема 8. Отладка, профилирование, надежность и энергоэффективность встраиваемого ПО (2 ч)

Методы отладки многозадачных приложений: внутрисхемная отладка, точки останова, отладка с учетом состояния ядра. Средства трассировки и визуализации выполнения задач. Профилирование: измерение загрузки процессора, времени выполнения задач, оценка наихудшего времени выполнения (WCET). Типовые ошибки многозадачных программ и способы их обнаружения. Сторожевой таймер и восстановление после сбоев, обработка исключений отказа (HardFault). Тестирование встраиваемого ПО, модульное тестирование и эмуляция аппаратуры. Управление энергопотреблением: режимы пониженного потребления, режим tickless idle, динамическое управление тактированием. Обновление встроенного ПО (OTA) и загрузчики. Тенденции развития операционных систем микроконтроллеров.

3.3.2 Содержание лабораторных занятий (36 часов)

Лабораторная работа № 1. Инструментальные средства разработки для микроконтроллеров (4 ч)

Установка и настройка интегрированной среды разработки и системы сборки. Создание, компиляция и загрузка проекта на отладочную плату. Работа с отладчиком через интерфейс SWD: точки останова, просмотр

регистров и памяти. Изучение карты памяти и стартового кода проекта. Оформление отчета о структуре проекта.

Лабораторная работа № 2. Организация программного обеспечения по схеме bare-metal (4 ч)

Реализация приложения по схеме суперцикла с опросом периферии. Введение обработчиков прерываний и разгрузка основного цикла. Разработка простейшего кооперативного планировщика на базе системного таймера. Исследование ограничений bare-metal-подхода при увеличении числа функций устройства.

Лабораторная работа № 3. Создание задач и исследование планировщика OSCPВ (4 ч)

Подключение и конфигурирование ядра FreeRTOS в проекте. Создание и удаление задач, назначение приоритетов, работа функций задержки. Сравнение вытесняющего и кооперативного режимов планирования. Экспериментальное измерение времени переключения контекста и времени отклика задачи.

Лабораторная работа № 4. Синхронизация задач и межзадачное взаимодействие (6 ч)

Организация доступа к разделяемому ресурсу с помощью мьютекса и критических секций. Применение двоичных и счетных семафоров для синхронизации. Передача данных через очереди сообщений по схеме «производитель — потребитель». Использование групп событий и прямых уведомлений задач. Моделирование и устранение инверсии приоритетов и взаимной блокировки.

Лабораторная работа № 5. Управление памятью в приложениях OSCPВ (4 ч)

Сравнение схем распределения кучи (heap_1 — heap_5) и оценка фрагментации. Статическое создание объектов ядра. Настройка размеров стеков задач и контроль их переполнения. Мониторинг свободной памяти в процессе работы приложения. Анализ карты памяти, сформированной компоновщиком.

Лабораторная работа № 6. Прерывания, программные таймеры и драйверы периферии (6 ч)

Настройка приоритетов прерываний и безопасное взаимодействие обработчиков с ядром OSCPВ. Реализация отложенной обработки прерываний с использованием семафора и задачи-обработчика. Применение программных таймеров. Разработка драйвера интерфейса UART (или I2C) поверх OSCPВ с буферизацией данных. Измерение латентности прерываний.

Лабораторная работа № 7. Разработка приложения в среде Zephyr RTOS (4 ч)

Установка окружения и сборка приложения средствами системы west. Конфигурирование проекта с использованием Kconfig и описание аппаратуры в devicetree. Реализация многозадачного приложения с использованием API

Zephyr. Сравнительный анализ Zephyr и FreeRTOS по трудоемкости разработки, объему кода и функциональным возможностям.

Лабораторная работа № 8. Отладка, профилирование и энергоэффективность приложения (4 ч)

Трассировка выполнения задач и визуализация временных диаграмм. Измерение загрузки процессора и времени выполнения задач. Настройка сторожевого таймера и обработки исключений отказа. Перевод приложения в режим tickless idle и оценка энергопотребления. Подготовка итогового отчета по результатам исследования.

3.3.3 Содержание самостоятельной работы обучающихся (54 часа)

Самостоятельная работа обучающихся включает следующие виды деятельности:

- проработка конспектов лекций и изучение разделов дисциплины, вынесенных на самостоятельное изучение, по рекомендованной литературе и электронным образовательным ресурсам;
- изучение технической документации на микроконтроллеры и операционные системы реального времени, в том числе документации на английском языке;
- подготовка к выполнению и защите лабораторных работ, оформление отчетов;
- выполнение индивидуальных домашних заданий по разработке фрагментов многозадачных приложений;
- подготовка обзора (реферата) по одной из современных операционных систем для микроконтроллеров;
- подготовка к тестированию и к экзамену.

4 Учебно-методическое и информационное обеспечение

4.1 Нормативные документы и ГОСТы

1. Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации».
2. Приказ Минобрнауки России от 19.09.2017 № 929 (ред. от 08.02.2021) «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования — бакалавриат по направлению подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника» (Зарегистрировано в Минюсте России 10 октября 2017 г. № 48489).
3. Академический учебный план. Направление подготовки: 09.03.01 Информатика и вычислительная техника. Профиль: Информационные системы умных пространств. Форма обучения: очная.
4. Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет»

(утверждено приказом Московского Политеха от 01.12.2022 № 13750Д).

5. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010. Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств.
6. ГОСТ 19.701-90 (ИСО 5807-85). Единая система программной документации. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения.

4.2 Основная литература

1. Таненбаум, Э. Современные операционные системы / Э. Таненбаум, Х. Бос. — 4-е изд. — Санкт-Петербург : Питер, 2015. — 1120 с.
2. Молчанов, А. Ю. Системное программное обеспечение : учебник для вузов / А. Ю. Молчанов. — Санкт-Петербург : Питер, 2010. — 400 с.
3. Гуров, В. В. Микропроцессорные системы : учебник / В. В. Гуров. — Москва : ИНФРА-М, 2018. — 336 с.
4. Магда, Ю. С. Микроконтроллеры серии ARM7. Программирование на языке С : практическое пособие / Ю. С. Магда. — Москва : ДМК Пресс, 2010. — 232 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/1288>

4.3 Дополнительная литература

1. Джозеф, Ю. Ядро Cortex-M3 компании ARM. Полное руководство / Ю. Джозеф ; пер. с англ. — Москва : Додэка-XXI, 2012. — 552 с.
2. Редькин, П. П. Микроконтроллеры ARM7. Семейство LPC2000. Обзор архитектуры и примеры применения : руководство / П. П. Редькин. — Москва : Додэка-XXI, 2007. — 640 с.
3. Авдеев, В. А. Организация ЭВМ и периферия с демонстрацией имитационных моделей : учебное пособие / В. А. Авдеев. — Москва : ДМК Пресс, 2014. — 708 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/58704>
4. Новожилов, О. П. Архитектура ЭВМ и систем : учебное пособие для вузов / О. П. Новожилов. — Москва : Юрайт, 2019. — 527 с.
5. Гельбух, С. С. Сети ЭВМ и телекоммуникации. Архитектура и организация : учебное пособие / С. С. Гельбух. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 208 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/118646>
6. Олифер, В. Г. Сетевые операционные системы : учебник для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. — 2-е изд. — Санкт-Петербург : Питер, 2009. — 669 с.

4.4 Электронные образовательные ресурсы

1. Курс в ЛМС Московского политехнического университета. — <https://lms.mospolytech.ru/>
2. Официальная документация FreeRTOS. — <https://www.freertos.org/>

3. Официальная документация Zephyr Project. — <https://docs.zephyrproject.org/>
4. Официальный сайт проекта RIOT OS. — <https://www.riot-os.org/>
5. Официальный сайт проекта Contiki-NG. — <https://www.contiki-ng.org/>
6. Документация ARM CMSIS и CMSIS-RTOS. — <https://www.arm.com/technologies/cmsis>
7. Техническая документация и средства разработки STMicroelectronics. — <https://www.st.com/>
8. Электронно-библиотечная система «Лань». — <https://e.lanbook.com/>
9. Электронно-библиотечная система «Юрайт». — <https://urait.ru/>

4.5 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

1. Операционная система Windows 10 (или выше) — Microsoft Open License.
2. Офисные приложения Microsoft Office 2016 (или выше) — Microsoft Open License.
3. Интегрированная среда разработки STM32CubeIDE — свободно распространяемое ПО.
4. Ядро реального времени FreeRTOS — свободно распространяемое ПО (лицензия MIT).
5. Операционная система Zephyr RTOS — свободно распространяемое ПО (лицензия Apache 2.0).
6. Инструментальная платформа PlatformIO и редактор Visual Studio Code — свободно распространяемое ПО.
7. Компилятор GNU Arm Embedded Toolchain (GCC) — свободно распространяемое ПО (лицензия GPL).
8. Система контроля версий Git — свободно распространяемое ПО (лицензия GPL).
9. Средства отладки и трассировки OpenOCD, Renode — свободно распространяемое ПО.

5 Материально-техническое обеспечение

Для проведения всех видов занятий необходимо презентационное оборудование (мультимедийный проектор, компьютер, экран) — 1 комплект.

Для проведения лабораторных занятий необходимо наличие компьютерного класса, оборудованного современной вычислительной техникой из расчета одно рабочее место на одного обучающегося, а также следующего лабораторного оборудования:

- отладочные платы на базе микроконтроллеров с ядром ARM Cortex-M (STM32 Nucleo, STM32 Discovery) — из расчета один комплект на одно рабочее место;
- отладочные модули на базе микроконтроллеров ESP32 и RISC-V (для сравнительного изучения платформ);

- программаторы-отладчики ST-Link (или аналогичные), соединительные кабели;
- наборы датчиков и исполнительных устройств с интерфейсами UART, SPI, I2C, аналоговым выходом;
- цифровые осциллографы и логические анализаторы для контроля временных характеристик — не менее одного на два рабочих места;
- измерители потребляемого тока (мультиметры, специализированные измерительные модули) для оценки энергоэффективности.

6 Методические рекомендации

6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

При подготовке к занятиям следует предварительно проработать материал занятия, предусмотрев его подачу точно в отведенное для этого время занятия. Следует подготовить необходимые материалы — теоретические сведения, примеры программного кода, задания для лабораторных работ, а также заранее проверить работоспособность отладочного оборудования и инструментальных средств.

При проведении занятия следует контролировать подачу материала и решение заданий с учетом учебного времени, отведенного для занятия. Лабораторные работы целесообразно выстраивать по принципу постепенного усложнения: от bare-metal-приложения к многозадачному приложению под управлением ОСРВ, что позволяет обучающимся самостоятельно осознать причины появления операционных систем реального времени.

При проверке работ и отчетов следует учитывать не только правильность выполнения заданий, но и оптимальность выбранных методов решения, корректность работы программы в условиях многозадачности, обоснованность выбора механизмов синхронизации и параметров конфигурации ядра, а также правильность выполнения всех шагов работы.

6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Изучение дисциплины осуществляется в строгом соответствии с целевой установкой в тесной взаимосвязи с учебным планом. Основой теоретической подготовки обучающихся являются лекции.

В процессе самостоятельной работы обучающиеся закрепляют и углубляют знания, полученные во время аудиторных занятий, дорабатывают конспекты лекций, изучают техническую документацию на применяемые микроконтроллеры и операционные системы, готовятся к защите лабораторных работ и к экзамену, а также самостоятельно изучают отдельные темы учебной программы.

Особое внимание при подготовке следует уделять практической работе с кодом: разбору примеров, самостоятельной модификации учебных проектов и анализу поведения программы при изменении приоритетов задач, параметров планировщика и объема выделяемой памяти.

7 Фонд оценочных средств

7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения

В процессе обучения используются следующие оценочные формы самостоятельной работы обучающихся, оценочные средства текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации:

- подготовка к решению прикладных задач;
- выполнение и защита лабораторных работ, оформление отчетов;
- подготовка домашних работ и их защита;
- подготовка обзора (реферата) по современным операционным системам микроконтроллеров;
- тест;
- экзамен.

7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения

Показателем оценивания компетенций на различных этапах их формирования является достижение обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю).

ОПК-2. Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и программных средств, в том числе отечественного производства, и использовать их при решении задач профессиональной деятельности.

ОПК-7. Способен участвовать в настройке и наладке программно-аппаратных комплексов.

Показатель	2	3	4	5
знать: принципы работы операционных систем реального времени, механизмы планирования, синхронизации и управления памятью в ОС микроконтроллеров, современные программные средства разработки встраиваемого ПО, в том числе отечественного производства	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие указанным знаниям	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие указанным знаниям, освещена основная, наиболее важная часть материала, допущена одна значительная ошибка или неточность	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие указанным знаниям, допускаются 2—3 несущественные ошибки и неточности	Обучающийся демонстрирует полное соответствие указанным знаниям, свободно оперирует материалом дисциплины

Показатель	2	3	4	5
уметь: разрабатывать, конфигурировать и отлаживать многозадачное программное обеспечение микроконтролле ров, выбирать механизмы синхронизации и параметры ядра ОСРВ для решения задач профессиональн ой деятельности	Обучающий ся не умеет или в недостаточн ой степени умеет выполнять указанные действия	Обучающийс я демонстриру ет неполное соответствие указанных умений, испытывает значительные затруднения при переносе умений на новые ситуации	Обучающийс я демонстриру ет частичное соответствие указанных умений, допускает незначительн ые ошибки и неточности	Обучающийс я демонстрируе т полное соответствие указанных умений, уверенно применяет их в нестандартны х ситуациях
владеть: навыками настройки и наладки программно- аппаратных комплексов на базе микроконтролле ров, методами отладки, тестирования и профилирования программ под управлением ОСРВ	Обучающий ся не владеет или в недостаточн ой степени владеет указанными навыками	Обучающийс я владеет указанными навыками, но допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточно сть навыков по ряду показателей	Обучающийс я частично владеет указанными навыками, допускаются незначительн ые ошибки и затруднения при аналитически х операциях	Обучающийс я в полном объеме владеет указанными навыками, свободно оперирует приобретенн ыми знаниями

Шкалы оценивания результатов промежуточной аттестации и их описание:

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

Промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю), методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

Шкала оценивания	Описание
отлично	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Обучающийся демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, свободно оперирует приобретенными знаниями, умениями и навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. Все лабораторные работы выполнены и защищены. Присутствовал более чем на $\frac{3}{4}$ занятий по дисциплине.
хорошо	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Обучающийся демонстрирует неполное, но правильное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, либо при этом были допущены 2—3 несущественные ошибки. Присутствовал более чем на $\frac{3}{4}$ занятий по дисциплине.
удовлетворительно	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Обучающийся демонстрирует соответствие знаний, в котором освещена основная, наиболее важная часть материала, но при этом допущена одна значительная ошибка или неточность. Присутствовал более чем на $\frac{1}{2}$ занятий по дисциплине.
неудовлетворительно	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Обучающийся демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

7.3 Оценочные средства

7.3.1 Список вопросов для экзамена

1. Встраиваемые системы: основные понятия, классификация, области применения.
2. Системы реального времени. Жесткое, мягкое и твердое реальное время.

3. Требования к программному обеспечению микроконтроллерных устройств.
4. История и тенденции развития операционных систем для микроконтроллеров.
5. Обзор рынка операционных систем реального времени, в том числе отечественных.
6. Обобщенная структура микроконтроллера. Состав и назначение основных узлов.
7. Архитектура ядер ARM Cortex-M: регистровая модель, режимы работы, указатели стека.
8. Карта памяти микроконтроллера. Стартовый код и таблица векторов прерываний.
9. Организация программного обеспечения по схеме суперцикла (bare-metal).
10. Кооперативный планировщик: принципы построения и ограничения.
11. Сравнение подходов bare-metal и ОСРВ. Критерии выбора модели организации ПО.
12. Структура ядра операционной системы реального времени и его основные функции.
13. Инструментальные средства разработки встраиваемого ПО. Отладочные интерфейсы SWD и JTAG.
14. Понятие задачи в ОСРВ. Блок управления задачей, стек и контекст задачи.
15. Состояния задачи и переходы между ними.
16. Механизм переключения контекста. Роль обработчиков SysTick и PendSV.
17. Вытесняющее, кооперативное и гибридное планирование.
18. Алгоритмы планирования: Round-Robin, планирование с фиксированными приоритетами.
19. Алгоритмы планирования RMS и EDF. Условия планируемости.
20. Системный тик и квант времени. Задача холостого хода.
21. Оценка времени отклика задачи и времени переключения контекста.
22. Проблема разделяемых ресурсов. Критические секции и атомарные операции.
23. Семафоры: двоичные и счетные. Области применения.
24. Мьютексы и рекурсивные мьютексы. Отличие мьютекса от двоичного семафора.
25. Инверсия приоритетов. Наследование и потолок приоритета.
26. Очереди сообщений и почтовые ящики. Схема «производитель — потребитель».
27. Группы событий и флаги событий. Прямые уведомления задач.
28. Взаимные блокировки: причины возникновения и способы предотвращения.
29. Организация памяти микроконтроллера. Секции программы и скрипт компоновщика.

30. Статическое и динамическое распределение памяти в ОСРВ.
31. Схемы распределения кучи (heap_1 — heap_5). Фрагментация памяти.
32. Пулы блоков фиксированного размера. Статическое создание объектов ядра.
33. Стеки задач: выбор размера, контроль переполнения, оценка глубины использования.
34. Блок защиты памяти (MPU) и построение защищенных приложений.
35. Система прерываний микроконтроллера. Контроллер NVIC, приоритеты и вложенность.
36. Взаимодействие обработчиков прерываний с ядром ОСРВ. Отложенная обработка прерываний.
37. Латентность прерываний и методы ее оценки.
38. Программные таймеры, задержки и тайм-ауты в ОСРВ.
39. Прямой доступ к памяти (DMA) в многозадачных приложениях.
40. Модель драйвера периферийного устройства в ОСРВ. Уровни абстракции аппаратуры.
41. Разработка драйверов интерфейсов UART, SPI, I2C под управлением ОСРВ.
42. FreeRTOS: архитектура, конфигурирование, состав программного интерфейса.
43. Zephyr RTOS: архитектура, система сборки, Kconfig и devicetree.
44. RIOT OS и Contiki-NG: особенности построения операционных систем для Интернета вещей.
45. Спецификация CMSIS-RTOS как унифицированный программный интерфейс.
46. Коммерческие операционные системы реального времени: embOS, ThreadX, QNX Neutrino.
47. Отечественные операционные системы реального времени. Импортозамещение в области встраиваемого ПО.
48. Критерии выбора операционной системы для проекта встраиваемой системы.
49. Портинг ядра ОСРВ на новую аппаратную платформу.
50. Методы отладки многозадачных приложений. Средства трассировки и визуализации.
51. Профилирование приложений: загрузка процессора, оценка наихудшего времени выполнения (WCET).
52. Типовые ошибки многозадачных программ и способы их обнаружения.
53. Сторожевой таймер и обработка исключений отказа. Восстановление после сбоев.
54. Тестирование встраиваемого программного обеспечения. Эмуляция аппаратуры.
55. Управление энергопотреблением. Режим tickless idle и режимы пониженного потребления.

- 56.Обновление встроенного программного обеспечения (OTA). Загрузчики.
- 57.Стеки сетевых протоколов в операционных системах микроконтроллеров.
- 58.Тенденции и перспективы развития операционных систем микроконтроллеров.

7.3.2 Примерные темы индивидуальных заданий и обзоров

- Сравнительный анализ FreeRTOS и Zephyr RTOS для заданного класса устройств.
- Реализация многозадачного приложения сбора данных с группы датчиков.
- Разработка драйвера периферийного устройства с буферизацией под управлением ОСРВ.
- Исследование влияния параметров планировщика на время отклика системы.
- Оценка энергопотребления устройства при различных режимах работы ядра ОСРВ.
- Обзор отечественных операционных систем реального времени и области их применения.
- Применение операционных систем микроконтроллеров в системах умных пространств.