

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Максимов Алексей Борисович

Должность: директор департамента по образовательной политике

Дата подписания: 12.10.2026 16:48:36

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
Программирование микроконтроллеров**

Направление подготовки

09.03.01 Информатика и вычислительная техника

Профиль подготовки (образовательная программа)

«Информационные системы умных пространств»

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 Информационные системы умных пространств.

Разработчик(и):

к. ф.-м. н., доцент кафедры



/ Т.Т. Идиатуллин /

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 «Программирование микроконтроллеров» следует отнести:

- формирование у обучающихся системного представления о микроконтроллерах как об основе встраиваемых вычислительных систем и о принципах их программирования;
- ознакомление обучающихся с архитектурой современных микроконтроллеров, составом и принципами работы их периферийных устройств, а также с инструментальными средствами разработки и отладки программного обеспечения;
- формирование навыков разработки, отладки и испытания прикладных программ для микроконтроллеров, а также проектирования законченных встраиваемых устройств.

К основным задачам освоения дисциплины «Программирование микроконтроллеров» следует отнести:

- изучение архитектуры микроконтроллеров, организации памяти, системы тактирования и режимов энергопотребления;
- изучение состава и принципов функционирования периферийных устройств микроконтроллеров: портов ввода-вывода, таймеров, аналого-цифровых преобразователей, контроллеров последовательных интерфейсов;
- изучение системы прерываний и механизмов прямого доступа к памяти, особенностей построения программ реального времени;
- освоение инструментальных средств разработки, программирования и внутрисхемной отладки микроконтроллерных устройств;
- приобретение навыков разработки программ на языке C для микроконтроллеров как на уровне регистров, так и с применением библиотек аппаратной абстракции;
- приобретение навыков подключения датчиков, исполнительных устройств и модулей связи, организации информационного обмена по последовательным интерфейсам;
- изучение принципов организации программного обеспечения встраиваемых систем: конечных автоматов, кооперативных планировщиков, основ операционных систем реального времени;
- приобретение навыков проектирования, отладки и документирования законченного встраиваемого устройства в рамках выполнения курсовой работы.

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

Код и наименование компетенций	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-5. Способен устанавливать программное и аппаратное обеспечение для информационных и автоматизированных систем	ИОПК-5.1. Знает состав аппаратных и программных средств микроконтроллерных систем, порядок установки и настройки инструментальных средств разработки. ИОПК-5.2. Умеет выполнять подключение и проверку аппаратных и программно-аппаратных средств, загружать программное обеспечение в память микроконтроллера. ИОПК-5.3. Владеет методами установки и конфигурирования инструментальных средств разработки, программирования и отладки микроконтроллерных устройств.
ОПК-7. Способен участвовать в настройке и наладке программно-аппаратных комплексов	ИОПК-7.1. Знает методы настройки и наладки микроконтроллерных устройств, средства внутрисхемной отладки и диагностики. ИОПК-7.2. Умеет выполнять конфигурирование периферийных устройств микроконтроллера, проводить проверку работоспособности устройства и выявлять причины отказов. ИОПК-7.3. Владеет навыками наладки встраиваемых устройств с применением осциллографа, логического анализатора и средств внутрисхемной отладки.
ОПК-8. Способен разрабатывать алгоритмы и программы, пригодные для практического применения	ИОПК-8.1. Знает принципы построения программного обеспечения встраиваемых систем и особенности программирования микроконтроллеров на языке С. ИОПК-8.2. Умеет разрабатывать и отлаживать программы для микроконтроллеров, реализующие заданные алгоритмы управления и обработки данных. ИОПК-8.3. Владеет навыками разработки, тестирования и документирования программного обеспечения встраиваемых устройств, пригодного для практического применения.

2 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Программирование 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 «Информационные системы умных пространств». Дисциплина изучается в течение двух семестров — третьего и четвертого.

Изучение дисциплины опирается на знания, умения и навыки, приобретенные в предшествующих дисциплинах: «Программирование», «Электроника и схемотехника», «Архитектура вычислительных систем», «Алгоритмы и структуры данных», «Дискретная математика».

Дисциплина обеспечивает изучение дисциплин «Операционные системы микроконтроллеров», «Промышленная автоматизация и интернет вещей», «Информационные системы умных пространств», выполнение выпускной квалификационной работы, а также прохождение производственной практики в организациях, разрабатывающих встраиваемые системы.

3 Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зачетных единиц, т.е. 288 академических часов, из них аудиторных — 108 часов, самостоятельная работа обучающихся — 108 часов, курсовая работа — 36 часов, промежуточная аттестация — 36 часов. Формы промежуточной аттестации: зачет в 3 семестре, экзамен и защита курсовой работы в 4 семестре.

3.1 Виды учебной работы и трудоемкость

(по очной форме обучения)

№ п/п	Вид учебной работы	Всего, час.	Семестр 3	Семестр 4
1	Аудиторные занятия	108	54	54
	В том числе:			
1.1	Лекции	36	18	18
1.2	Семинарские/практические занятия	—	—	—
1.3	Лабораторные занятия	72	36	36
2	Самостоятельная работа	108	54	54
3	Курсовая работа	36	—	36

№ п/п	Вид учебной работы	Всего, час.	Семестр 3	Семестр 4
4	Промежуточная аттестация	36	зачет	экзамен (36 ч), защита курсовой работы
	Итого:	288	108	180

3.2 Тематический план изучения дисциплины

(по очной форме обучения)

№ п/п	Разделы/темы дисциплины	Всего, час.	Лекции	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
Семестр 3					
1	Тема 1. Микроконтроллеры и встраиваемые системы: назначение, классификация, архитектуры	12	2	4	6
2	Тема 2. Архитектура микроконтроллера: ядро, память, тактирование, сброс, режимы работы	12	2	4	6
3	Тема 3. Инструментальные средства разработки, программирования и отладки	12	2	4	6
4	Тема 4. Порты ввода-вывода общего назначения	12	2	4	6
5	Тема 5. Система прерываний микроконтроллера	12	2	4	6
6	Тема 6. Таймеры и счетчики. Широтно-импульсная модуляция	12	2	4	6
7	Тема 7. Аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразование	12	2	4	6
8	Тема 8. Асинхронный	12	2	4	6

№ п/п	Разделы/темы дисциплины	Всего, час.	Лекции	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
	последовательный интерфейс UART				
9	Тема 9. Синхронные последовательные интерфейсы SPI и I2C	12	2	4	6
	Итого за 3 семестр	108	18	36	54
Семестр 4					
10	Тема 10. Прямой доступ к памяти. Энергосбережение, сторожевой таймер, часы реального времени	12	2	4	6
11	Тема 11. Работа с энергонезависимой и внешней памятью	12	2	4	6
12	Тема 12. Средства отображения информации и устройства ввода	12	2	4	6
13	Тема 13. Управление исполнительными устройствами	12	2	4	6
14	Тема 14. Цифровая обработка сигналов и алгоритмы регулирования на микроконтроллере	12	2	4	6
15	Тема 15. Сетевые и беспроводные интерфейсы микроконтроллерных устройств	12	2	4	6
16	Тема 16. Организация программного обеспечения встраиваемых систем	12	2	4	6
17	Тема 17. Отладка, тестирование и обеспечение надежности встраиваемых устройств	12	2	4	6

№ п/п	Разделы/темы дисциплины	Всего, час.	Лекции	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
18	Тема 18. Проектирование встраиваемого устройства и его документирование	12	2	4	6
	Итого за 4 семестр (без курсовой работы и промежуточной аттестации)	108	18	36	54
	Курсовая работа (4 семестр)	36	—	—	36
	Промежуточная аттестация (экзамен, 4 семестр)	36	—	—	36
	Всего по дисциплине	288	36	72	180

3.3 Содержание дисциплины

3.3.1 Содержание лекционных занятий (36 часов)

Семестр 3 (18 часов)

Тема 1. Микроконтроллеры и встраиваемые системы: назначение, классификация, архитектуры (2 ч)

Понятие встраиваемой системы, ее отличия от универсальной вычислительной системы. Микропроцессор, микроконтроллер, система на кристалле: соотношение понятий. История развития микроконтроллеров. Классификация микроконтроллеров по разрядности, архитектуре ядра, объему памяти, составу периферии и области применения. Гарвардская и фон-неймановская архитектуры. Системы команд с сокращенным и полным набором инструкций. Обзор распространенных семейств микроконтроллеров: 8-разрядные семейства, 32-разрядные семейства на базе процессорных ядер общего назначения, микроконтроллеры со встроенными средствами беспроводной связи. Отечественная элементная база: обзор микроконтроллеров российского производства и средств разработки для них. Критерии выбора микроконтроллера для решения прикладной задачи: производительность, энергопотребление, состав периферии, стоимость, доступность средств разработки и документации. Типовая структура встраиваемого устройства.

Тема 2. Архитектура микроконтроллера: ядро, память, тактирование, сброс, режимы работы (2 ч)

Структурная схема микроконтроллера. Процессорное ядро: регистры общего назначения, регистры состояния, конвейер, режимы работы процессора, привилегированный и пользовательский уровни. Организация памяти: энергонезависимая память программ, оперативная память, регистры специальных функций, единое адресное пространство, карта памяти. Стек и его размещение, механизм вызова подпрограмм. Система тактирования: внутренние и внешние источники тактового сигнала, кварцевые резонаторы, схемы умножения частоты, распределение тактовых сигналов по шинам и периферийным блокам, управление тактированием периферии. Схема сброса, источники сброса и их идентификация. Начальная загрузка и таблица векторов. Режимы пониженного энергопотребления, источники пробуждения. Электрические параметры выводов, допустимые нагрузки, требования к схеме питания и развязке.

Тема 3. Инструментальные средства разработки, программирования и отладки (2 ч)

Состав инструментального комплекса разработчика встраиваемых систем. Кросс-компиляция: компилятор, ассемблер, компоновщик, файл распределения памяти, утилиты преобразования форматов. Интегрированные среды разработки и системы сборки проектов. Особенности применения языка С при программировании микроконтроллеров: типы данных фиксированной разрядности, квалификаторы *volatile* и *const*, работа с битовыми полями и регистрами, размещение объектов в памяти, встроенный ассемблер. Стартовый код и инициализация среды исполнения. Уровни доступа к аппаратуре: непосредственная работа с регистрами, библиотеки аппаратной абстракции, генераторы кода конфигурации; их сопоставление по производительности, переносимости и трудоемкости разработки. Средства загрузки программы: последовательные интерфейсы программирования, внутрисистемное программирование, загрузчики. Внутрисхемная отладка: точки останова, пошаговое выполнение, просмотр памяти и регистров. Симуляторы и эмуляторы. Организация проекта и применение системы контроля версий.

Тема 4. Порты ввода-вывода общего назначения (2 ч)

Структура порта ввода-вывода, регистры конфигурации и данных. Режимы работы выводов: вход, выход, альтернативная функция, аналоговый режим. Схемы выходного каскада: двухтактный выход, выход с открытым

стоком; подтягивающие резисторы. Скорость переключения и ее влияние на помехоэмиссию. Атомарные операции с выводами, побитовая установка и сброс. Подключение светодиодов, расчет токоограничивающих резисторов. Подключение кнопок и контактных датчиков, явлениедребезга контактов, методы его подавления программными и аппаратными средствами. Опрос группы кнопок, матричная клавиатура. Организация программного цикла опроса, недостатки метода активного ожидания. Защита выводов от перенапряжений. Диагностика типовых ошибок при работе с портами ввода-вывода.

Тема 5. Система прерываний микроконтроллера (2 ч)

Понятие прерывания, отличие обработки событий по прерыванию от программного опроса. Источники прерываний: внешние выводы, периферийные блоки, системные исключения. Контроллер прерываний, таблица векторов, приоритеты прерываний, вложенные прерывания, маскирование. Последовательность действий процессора при возникновении прерывания, сохранение и восстановление контекста, задержка реакции на прерывание. Требования к обработчикам прерываний: минимальная длительность, отсутствие блокирующих операций, корректная работа с разделяемыми данными. Проблема состязаний при доступе к переменным из обработчика и основного цикла, критические секции, атомарный доступ, применение квалификатора `volatile`. Разделение обработки на быструю часть в обработчике и отложенную часть в основном цикле. Внешние прерывания по фронту и уровню сигнала, программная фильтрация ложных срабатываний. Типовые ошибки при работе с прерываниями и способы их выявления.

Тема 6. Таймеры и счетчики. Широтно-импульсная модуляция (2 ч)

Назначение и структура таймеров-счетчиков. Источники тактирования таймера, предделители, разрядность счетчика, вычисление периода переполнения. Режимы работы: счет с переполнением, сброс по совпадению, счет внешних событий. Формирование точных временных интервалов и системного тика. Организация программных таймеров на основе аппаратного тика. Режим захвата: измерение длительности импульсов, периода и частоты входного сигнала. Режим сравнения и генерация сигналов заданной формы. Широтно-импульсная модуляция: принцип, коэффициент заполнения, разрешение и частота модуляции, выравнивание по фронту и по центру. Расчет параметров таймера для заданной частоты и разрешения ШИМ. Применение ШИМ для регулирования яркости, мощности и управления сервоприводами.

Сторожевой таймер: назначение, порядок использования. Особенности одновременного использования нескольких таймеров.

Тема 7. Аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразование (2 ч)

Аналоговые сигналы и необходимость их преобразования. Принципы построения аналого-цифровых преобразователей: последовательного приближения, сигма-дельта; их характеристики. Основные параметры преобразователя: разрядность, шаг квантования, время преобразования, интегральная и дифференциальная нелинейность, источники погрешности. Опорное напряжение и его выбор. Каналы преобразования, мультиплексор входов, режимы одиночного и непрерывного преобразования, сканирование группы каналов. Запуск преобразования по программе, по таймеру и по внешнему событию; завершение преобразования по прерыванию. Согласование источника сигнала с входом преобразователя, время выборки, входное сопротивление. Программная обработка результатов: усреднение, медианная фильтрация, пересчет в физические величины, калибровка. Измерение параметров типовых датчиков. Цифро-аналоговое преобразование и встроенные аналоговые компараторы. Схемотехнические меры повышения точности измерений.

Тема 8. Асинхронный последовательный интерфейс UART (2 ч)

Принципы последовательной передачи данных. Синхронная и асинхронная передача. Формат кадра UART: стартовый бит, биты данных, бит четности, стоповые биты. Скорость передачи, расчет коэффициента деления, допустимая погрешность частоты тактирования и ее влияние на достоверность обмена. Структура контроллера UART, регистры данных и состояния, флаги готовности и ошибок: переполнения, кадровой ошибки, ошибки четности. Организация передачи и приема: программный опрос флагов, работа по прерываниям, применение кольцевых буферов. Физические уровни интерфейса: логические уровни микроконтроллера, интерфейсы RS-232 и RS-485, преобразователи уровней, полудуплексный обмен и управление направлением передачи. Организация протокола прикладного уровня поверх UART: формат послышки, синхронизация, контрольная сумма, обработка таймаутов. Подключение микроконтроллера к персональному компьютеру и отладка обмена с применением терминальной программы.

Тема 9. Синхронные последовательные интерфейсы SPI и I2C (2 ч)

Интерфейс SPI: линии, режим ведущего и ведомого, тактовая полярность и фаза, порядок следования битов, выбор ведомого устройства,

скорость обмена. Полнодуплексный характер обмена, организация передачи с использованием прерываний. Подключение нескольких ведомых устройств. Интерфейс I2C: двухпроводная шина, адресация устройств, режимы передачи, условия начала и остановки, подтверждение приема, арбитраж и синхронизация тактового сигнала, скоростные режимы. Расчет подтягивающих резисторов шины. Типовые ошибки обмена и восстановление шины при зависании. Сопоставление интерфейсов SPI, I2C и UART по скорости, числу линий, дальности и сложности реализации. Подключение к микроконтроллеру типовых устройств: датчиков, микросхем памяти, часов реального времени, расширителей портов, модулей отображения. Диагностика обмена с применением логического анализатора.

Семестр 4 (18 часов)

Тема 10. Прямой доступ к памяти. Энергосбережение, сторожевой таймер, часы реального времени (2 ч)

Контроллер прямого доступа к памяти: назначение, структура, каналы, приоритеты, режимы передачи «память — память» и «память — периферия», циклический режим. Настройка канала прямого доступа, событие завершения передачи, совместное использование с периферийными блоками. Разгрузка процессора и повышение пропускной способности при обмене большими объемами данных. Режимы пониженного энергопотребления: остановка ядра, остановка тактирования периферии, режим глубокого сна; потребление в каждом режиме, время выхода и источники пробуждения. Приемы снижения энергопотребления: динамическое управление тактовой частотой, отключение неиспользуемой периферии, событийно-ориентированная архитектура программы. Расчет времени автономной работы устройства с батарейным питанием. Сторожевой таймер: оконный режим, стратегия сброса, взаимодействие со сторожевым таймером в многозадачной программе. Часы реального времени: источник тактирования, резервное питание, календарь, будильник, ведение времени при отключении основного питания.

Тема 11. Работа с энергонезависимой и внешней памятью (2 ч)

Типы энергонезависимой памяти: память программ, встроенная память данных, внешние микросхемы памяти с последовательным интерфейсом, карты памяти. Организация памяти программ, страницы и секторы, ограничения на число циклов перезаписи. Программное изменение содержимого памяти программ, самопрограммирование, реализация загрузчиков и обновления программного обеспечения устройства. Хранение параметров конфигурации устройства: структура записи, контроль

целостности, механизмы выравнивания износа, обеспечение сохранности данных при отключении питания. Подключение и программирование внешних микросхем памяти. Работа с картами памяти: инициализация, чтение и запись секторов, применение файловой системы, ограничения по объему оперативной памяти. Организация журналов и накопления измерительных данных во встраиваемом устройстве. Защита содержимого памяти от считывания и модификации.

Тема 12. Средства отображения информации и устройства ввода (2 ч)

Классификация средств отображения информации во встраиваемых устройствах. Светодиодные индикаторы, семисегментные индикаторы, динамическая индикация, расчет параметров. Знакосинтезирующие жидкокристаллические модули: интерфейс, система команд, вывод символов и создание пользовательских знаковенераторов. Графические дисплеи: организация видеопамети, интерфейсы подключения, вывод графических примитивов и текста, работа со шрифтами, буферизация изображения и ограничения по объему оперативной памяти. Организация обновления экрана без мерцания. Устройства ввода: кнопки, матричные клавиатуры, поворотные энкодеры, аналоговые органы управления, сенсорные панели. Программная обработка событий ввода, определение длительного нажатия и последовательностей нажатий. Построение экранного меню встраиваемого устройства на основе конечного автомата. Эргономические требования к интерфейсу встраиваемого устройства.

Тема 13. Управление исполнительными устройствами (2 ч)

Согласование микроконтроллера с силовыми цепями: транзисторные ключи, драйверы, оптическая развязка, защита от индуктивных выбросов. Управление реле и электромагнитными исполнительными элементами. Коллекторные двигатели постоянного тока: регулирование частоты вращения широтно-импульсной модуляцией, реверс, мостовые схемы, драйверы двигателей. Шаговые двигатели: принцип работы, полношаговый и полушаговый режимы, микрошаговый режим, формирование последовательности управляющих импульсов, разгон и торможение. Сервоприводы с управлением по длительности импульса. Бесколлекторные двигатели (обзорно). Обратная связь по положению и скорости: датчики Холла, оптические энкодеры, обработка сигналов квадратурного энкодера. Управление нагревательными элементами и другими инерционными объектами. Вопросы электромагнитной совместимости и раздельного питания силовой и цифровой частей устройства.

Тема 14. Цифровая обработка сигналов и алгоритмы регулирования на микроконтроллере (2 ч)

Особенности вычислений на микроконтроллере: целочисленная арифметика, арифметика с фиксированной точкой, применение вычислений с плавающей точкой и их стоимость, аппаратный блок вычислений с плавающей точкой. Оптимизация вычислений: масштабирование, сдвиги вместо деления, табличные методы, аппроксимация функций. Дискретизация сигналов, теорема Котельникова, наложение спектров и меры его предотвращения. Цифровая фильтрация: скользящее среднее, экспоненциальный фильтр, медианный фильтр, фильтры с конечной и бесконечной импульсной характеристикой; выбор фильтра по вычислительным затратам. Обнаружение событий в сигнале, пороговая обработка с гистерезисом. Пропорционально-интегрально-дифференциальный закон регулирования: дискретная форма, выбор периода дискретизации, ограничение накопления интегральной составляющей, фильтрация дифференциальной составляющей. Методы настройки регулятора. Оценка вычислительной нагрузки и времени выполнения алгоритма.

Тема 15. Сетевые и беспроводные интерфейсы микроконтроллерных устройств (2 ч)

Расширение возможностей встраиваемых устройств за счет сетевого взаимодействия. Интерфейс CAN: физический уровень, формат кадра, арбитраж, обработка ошибок, применение в распределенных системах управления. Интерфейс 1-Wire и однопроводные датчики. Подключение микроконтроллера к сетям Ethernet: встроенные и внешние контроллеры, облегченные реализации стека протоколов. Беспроводные интерфейсы: технологии малого радиуса действия, модули Bluetooth Low Energy, модули Wi-Fi, приемопередатчики диапазонов общего пользования, технологии дальней связи с низким энергопотреблением. Микроконтроллеры со встроенными средствами беспроводной связи. Управление модулями связи по последовательному интерфейсу с применением наборов команд. Передача телеметрических данных на сервер, применение протоколов прикладного уровня для встраиваемых устройств. Обеспечение надежности обмена: подтверждения, повторные передачи, контрольные суммы. Основы защиты информационного обмена встраиваемого устройства.

Тема 16. Организация программного обеспечения встраиваемых систем (2 ч)

Типовые схемы организации программы микроконтроллера: суперцикл с опросом, суперцикл с обработкой событий по прерываниям, кооперативный планировщик, вытесняющая многозадачность. Достоинства и ограничения каждой схемы. Проектирование программы на основе конечных автоматов: описание состояний и переходов, таблицы переходов, реализация автоматов на языке С. Организация обмена данными между обработчиками прерываний и фоновыми задачами: кольцевые буферы, флаги событий, очереди. Понятие реального времени, жесткие и мягкие временные ограничения, время реакции системы. Введение в операционные системы реального времени: задача, планировщик, приоритеты, средства синхронизации и межзадачного взаимодействия; условия целесообразности применения. Модульная структура проекта, разделение аппаратно-зависимого и прикладного уровней, обеспечение переносимости кода. Соглашения о стиле кодирования и требования отраслевых стандартов к программному коду встраиваемых систем.

Тема 17. Отладка, тестирование и обеспечение надежности встраиваемых устройств (2 ч)

Особенности отладки встраиваемых систем: ограниченные средства наблюдения, влияние отладочных средств на поведение системы, невоспроизводимые отказы. Внутрисхемная отладка: точки останова, наблюдение переменных, трассировка выполнения. Отладочный вывод через последовательный интерфейс и его влияние на временные характеристики. Применение осциллографа и логического анализатора для наблюдения сигналов и декодирования протоколов обмена. Измерение времени выполнения участков кода и оценка загрузки процессора. Типовые ошибки: переполнение стека, выход за границы массива, некорректная работа с указателями, состязания при доступе к разделяемым данным, ошибки инициализации периферии, некорректная обработка переполнения счетчиков. Статический анализ кода. Модульное тестирование прикладной логики на инструментальном компьютере. Обеспечение отказоустойчивости: контроль исходных данных, обработка нештатных ситуаций, перевод устройства в безопасное состояние, применение сторожевого таймера, самодиагностика при включении.

Тема 18. Проектирование встраиваемого устройства и его документирование (2 ч)

Этапы разработки встраиваемого устройства: формирование требований, выбор элементной базы, разработка структурной и

принципиальной схем, разработка программного обеспечения, изготовление и отладка макета, испытания. Формирование технического задания на разработку устройства. Обоснование выбора микроконтроллера и периферийных компонентов по составу требований, потребляемой мощности и стоимости. Проектирование схемы питания, расчет потребления, вопросы помехоустойчивости, трассировки и заземления (обзорно). Оценка вычислительных ресурсов: объема памяти программ и данных, загрузки процессора. Планирование работ по проекту. Состав технической документации на встраиваемое устройство: техническое задание, схема электрическая структурная и принципиальная, перечень элементов, описание программы, руководство по эксплуатации, программа и методика испытаний. Требования стандартов к оформлению программной и конструкторской документации. Подготовка пояснительной записки и защита результатов разработки.

3.3.2 Содержание лабораторных занятий (72 часа)

Семестр 3 (36 часов)

Лабораторная работа № 1. Инструментальные средства разработки.

Первая программа (4 ч)

Изучение состава отладочного комплекта и документации на применяемый микроконтроллер. Установка и настройка интегрированной среды разработки, создание проекта, изучение структуры проекта и файла распределения памяти. Сборка программы, загрузка в память микроконтроллера, запуск в режиме внутрисхемной отладки, пошаговое выполнение и просмотр содержимого регистров. Анализ объема занимаемой памяти программ и данных.

Лабораторная работа № 2. Конфигурирование системы тактирования и портов ввода-вывода (4 ч)

Настройка источников тактового сигнала и схемы умножения частоты, контроль полученной частоты по временным диаграммам. Конфигурирование выводов микроконтроллера в различных режимах. Разработка программы управления светодиодной индикацией, измерение длительности программных задержек с применением осциллографа. Сравнение способов формирования задержек и оценка их точности.

Лабораторная работа № 3. Обработка сигналов кнопок и матричной клавиатуры (4 ч)

Подключение кнопок к микроконтроллеру, наблюдение дребезга контактов с применением осциллографа. Реализация программных методов подавления дребезга и сравнение их эффективности. Разработка программы опроса матричной клавиатуры с определением кода нажатой клавиши, обработкой длительного нажатия и одновременного нажатия нескольких клавиш.

Лабораторная работа № 4. Работа с системой прерываний (4 ч)

Настройка внешних прерываний по фронту и уровню сигнала, разработка обработчиков прерываний. Исследование приоритетов и вложенности прерываний. Измерение времени реакции на прерывание с применением осциллографа. Организация корректного обмена данными между обработчиком прерывания и основным циклом программы, демонстрация последствий отсутствия защиты разделяемых данных.

Лабораторная работа № 5. Таймеры: формирование временных интервалов и системного тика (4 ч)

Конфигурирование таймера для формирования заданных временных интервалов, расчет параметров предделителя и регистра сравнения. Организация системного тика и построение на его основе набора программных таймеров. Реализация многозадачного поведения программы без блокирующих задержек. Проверка точности формируемых интервалов.

Лабораторная работа № 6. Широтно-импульсная модуляция и режим захвата (4 ч)

Настройка таймера в режиме широтно-импульсной модуляции, регулирование коэффициента заполнения, наблюдение выходного сигнала на осциллографе. Реализация плавного изменения яркости светодиода и управления сервоприводом. Настройка режима захвата и измерение периода, частоты и длительности импульсов внешнего сигнала, оценка погрешности измерений.

Лабораторная работа № 7. Аналого-цифровое преобразование и обработка сигналов датчиков (4 ч)

Конфигурирование аналого-цифрового преобразователя, выполнение одиночных и последовательных преобразований, запуск преобразования по таймеру с обработкой по прерыванию. Подключение аналоговых датчиков, пересчет результатов преобразования в физические величины, калибровка. Исследование уровня шума и применение программных методов фильтрации, сравнение их эффективности.

Лабораторная работа № 8. Организация обмена по интерфейсу UART (4 ч)

Конфигурирование контроллера UART, реализация передачи и приема данных методом опроса флагов и по прерываниям с использованием кольцевых буферов. Организация обмена микроконтроллера с персональным компьютером через терминальную программу. Разработка простого протокола прикладного уровня с контрольной суммой и обработкой тайм-аутов, проверка устойчивости обмена к ошибкам.

Лабораторная работа № 9. Подключение периферийных устройств по интерфейсам SPI и I2C (4 ч)

Конфигурирование контроллеров SPI и I2C, определение параметров обмена по документации на подключаемые устройства. Подключение цифрового датчика по интерфейсу I2C, сканирование шины, чтение регистров и получение измеренных значений. Подключение микросхемы памяти или модуля отображения по интерфейсу SPI. Наблюдение и декодирование обмена с применением логического анализатора, диагностика ошибок обмена.

Семестр 4 (36 часов)

Лабораторная работа № 10. Прямой доступ к памяти и режимы пониженного энергопотребления (4 ч)

Настройка канала прямого доступа к памяти для обмена данными с периферийным устройством, сравнение загрузки процессора при обмене с применением прямого доступа и без него. Перевод микроконтроллера в режимы пониженного энергопотребления, организация пробуждения по внешнему событию и по таймеру. Измерение тока потребления в различных режимах и оценка времени автономной работы устройства.

Лабораторная работа № 11. Хранение данных в энергонезависимой памяти (4 ч)

Разработка модуля хранения параметров конфигурации устройства в энергонезависимой памяти с контролем целостности записи. Исследование поведения устройства при отключении питания в момент записи. Подключение внешней микросхемы памяти или карты памяти, организация накопления измерительных данных и их последующего считывания.

Лабораторная работа № 12. Средства отображения информации и пользовательский интерфейс (4 ч)

Подключение знакосинтезирующего или графического дисплея, разработка библиотеки вывода символов и графических примитивов. Организация обновления экрана без мерцания. Разработка экранного меню устройства на основе конечного автомата с навигацией при помощи кнопок или поворотного энкодера, отображение измеряемых параметров и настроек.

Лабораторная работа № 13. Управление двигателями и исполнительными устройствами (4 ч)

Подключение коллекторного двигателя через драйвер, реализация регулирования частоты вращения и реверса. Управление шаговым двигателем в полношаговом и полушаговом режимах, реализация разгона и торможения. Обработка сигналов квадратурного энкодера и определение положения и направления вращения вала.

Лабораторная работа № 14. Цифровая фильтрация и реализация регулятора (4 ч)

Реализация цифровых фильтров различных типов для обработки сигнала датчика, сравнение их характеристик по качеству подавления шума и вносимой задержке. Реализация пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора для управления инерционным объектом, настройка коэффициентов, исследование переходных процессов и оценка показателей качества регулирования.

Лабораторная работа № 15. Сетевое взаимодействие встраиваемого устройства (4 ч)

Подключение модуля беспроводной связи к микроконтроллеру и организация управления модулем по последовательному интерфейсу. Настройка подключения устройства к сети и передача телеметрических данных на сервер с применением протокола прикладного уровня. Реализация приема управляющих команд устройством. Обработка потери связи и реализация повторных попыток передачи.

Лабораторная работа № 16. Организация программного обеспечения на основе конечных автоматов и планировщика (4 ч)

Проектирование программы устройства в виде совокупности взаимодействующих конечных автоматов, разработка таблиц переходов и их программная реализация. Реализация кооперативного планировщика задач на основе системного тика. Сравнение полученного решения с реализацией на основе простого суперцикла по времени реакции и удобству сопровождения кода.

Лабораторная работа № 17. Отладка и тестирование встраиваемого устройства (4 ч)

Измерение времени выполнения участков программы и оценка загрузки процессора. Определение фактического использования оперативной памяти и глубины стека. Поиск и устранение внесенных в учебную программу ошибок с применением средств внутрисхемной отладки, осциллографа и логического анализатора. Реализация самодиагностики устройства при включении и корректной обработки нештатных ситуаций с применением сторожевого таймера.

Лабораторная работа № 18. Комплексная отладка макета устройства (4 ч)

Сборка макета устройства из освоенных ранее модулей в соответствии с индивидуальным заданием курсовой работы. Комплексная проверка взаимодействия подсистем, выявление и устранение взаимного влияния периферийных блоков. Проведение испытаний по разработанной методике, фиксация полученных характеристик. Подготовка демонстрации работы устройства и материалов для пояснительной записки.

3.3.3 Содержание самостоятельной работы обучающихся (108 часов)

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 применяемые микроконтроллеры (руководств по эксплуатации, справочных руководств по регистрам, документации на периферийные микросхемы), в том числе документации на английском языке;
- изучение примеров программного кода из состава библиотек производителя и их адаптация к учебным задачам;
- подготовка к выполнению и защите лабораторных работ, оформление отчетов;
- разработка и отладка фрагментов программного обеспечения вне аудиторных занятий, в том числе с применением средств симуляции;
- решение расчетных задач: определение параметров таймеров, расчет скорости обмена и погрешности тактирования, расчет потребления и времени автономной работы;

- подготовка обзора (реферата) по семействам микроконтроллеров или технологиям построения встраиваемых систем;
- подготовка к тестированию, к зачету и к экзамену.

3.4 Курсовая работа

Курсовая работа выполняется в 4 семестре. Трудоемкость курсовой работы составляет 36 часов самостоятельной работы обучающегося.

Целью курсовой работы является закрепление и систематизация знаний, полученных при изучении дисциплины, и приобретение опыта самостоятельной разработки законченного встраиваемого устройства на базе микроконтроллера — от формирования требований до испытаний макета и оформления технической документации.

Курсовая работа выполняется по индивидуальному заданию, выдаваемому руководителем. Задание должно предусматривать применение не менее трех различных периферийных блоков микроконтроллера, включая не менее одного последовательного интерфейса, а также наличие пользовательского интерфейса или канала передачи данных.

Пояснительная записка к курсовой работе включает следующие разделы:

- титульный лист, задание на курсовую работу, содержание;
- введение с обоснованием актуальности разработки и постановкой задачи;
- анализ технического задания, обзор аналогичных решений, формирование требований к устройству;
- обоснование выбора микроконтроллера и элементной базы, расчет потребляемой мощности и требуемых вычислительных ресурсов;
- разработка структурной и принципиальной электрической схем устройства, перечень элементов;
- разработка алгоритмов функционирования устройства и схем алгоритмов;
- описание программного обеспечения: структура проекта, назначение модулей, распределение аппаратных ресурсов, обоснование принятых программных решений;
- описание отладки устройства, программа и методика испытаний, результаты испытаний;
- заключение, список использованных источников;
- приложения: листинг программы, схемы, фотографии или изображения макета.

Результаты курсовой работы представляются на защите в виде доклада с демонстрацией работоспособности макета устройства или результатов его моделирования. Оценка за курсовую работу выставляется отдельно от оценки за экзамен.

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 № 1375ОД).
5. ГОСТ 19.701-90. Единая система программной документации. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения.
6. ГОСТ 19.201-78. Единая система программной документации. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению.
7. ГОСТ 19.402-78. Единая система программной документации. Описание программы.
8. ГОСТ 2.701-2008. Единая система конструкторской документации. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.
9. ГОСТ 2.702-2011. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения электрических схем.

10. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010. Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств.
11. ГОСТ Р ИСО/МЭК 9899-2020. Информационные технологии. Языки программирования. С.

4.2 Основная литература

1. Белов, А. В. Микроконтроллеры AVR: от азов программирования до создания практических устройств / А. В. Белов. — 2-е изд. — Санкт-Петербург : Наука и Техника, 2016. — 544 с.
2. Хартов, В. Я. Микроконтроллеры AVR. Практикум для начинающих : учебное пособие / В. Я. Хартов. — 2-е изд. — Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. — 280 с.
3. Джозеф, Ю. Ядро Cortex-M3 компании ARM. Полное руководство / Ю. Джозеф ; пер. с англ. — Москва : Додэка-XXI, 2012. — 552 с.
4. Шпак, Ю. А. Программирование на языке С для AVR и PIC микроконтроллеров / Ю. А. Шпак. — 2-е изд. — Киев : МК-Пресс, 2011. — 544 с.
5. Магда, Ю. С. Микроконтроллеры и системы автоматизации : практическое пособие / Ю. С. Магда. — Москва : ДМК Пресс, 2013. — 240 с.

4.3 Дополнительная литература

1. Керниган, Б. Язык программирования С / Б. Керниган, Д. Ритчи ; пер. с англ. — 2-е изд. — Москва : Вильямс, 2019. — 288 с.
2. Евстифеев, А. В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы ATMEL / А. В. Евстифеев. — 5-е изд. — Москва : Додэка-XXI, 2008. — 560 с.
3. Иванов, Ю. И. Микропроцессорные устройства систем управления : учебное пособие / Ю. И. Иванов, В. Я. Югай. — Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2005. — 133 с.
4. Кузьминов, А. Ю. Интерфейс RS232. Связь между компьютером и микроконтроллером / А. Ю. Кузьминов. — Москва : ДМК Пресс, 2008. — 320 с.
5. Сергиенко, А. Б. Цифровая обработка сигналов : учебное пособие / А. Б. Сергиенко. — 3-е изд. — Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2011. — 768 с.

6. Денисенко, В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В. В. Денисенко. — Москва : Горячая линия — Телеком, 2009. — 608 с.
7. Шварц, М. Интернет вещей с ESP8266 / М. Шварц ; пер. с англ. — Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2018. — 192 с.

4.4 Электронные образовательные ресурсы

1. Курс в ЛМС Московского политехнического университета. — <https://lms.mospolytech.ru/>
2. Техническая документация и примеры программного кода производителей микроконтроллеров (справочные руководства, руководства по применению, библиотеки аппаратной абстракции).
3. Документация на инструментальную платформу PlatformIO. — <https://docs.platformio.org/>
4. Документация на компилятор GCC для микроконтроллеров с ядром ARM. — <https://gcc.gnu.org/onlinedocs/>
5. Документация на отладчик OpenOCD. — <https://openocd.org/doc/html/index.html>
6. Документация на программный логический анализатор PulseView (проект sigrok). — https://sigrok.org/wiki/Main_Page
7. Документация операционной системы реального времени FreeRTOS. — <https://www.freertos.org/Documentation/>
8. Единый реестр российской радиоэлектронной продукции и информация об отечественной элементной базе. — <https://gisp.gov.ru/>
9. Электронно-библиотечная система «Лань». — <https://e.lanbook.com/>
10. 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. Кросс-компилятор GCC для микроконтроллеров с ядром ARM (arm-none-eabi-gcc) — свободно распространяемое ПО (лицензия GPL).
4. Кросс-компилятор avr-gcc и утилита загрузки AVRDUDE — свободно распространяемое ПО (лицензия GPL).

5. Интегрированная среда разработки производителя микроконтроллеров (STM32CubeIDE или аналогичная) — свободно распространяемое ПО (бесплатная лицензия).
6. Инструментальная платформа PlatformIO и редактор Visual Studio Code — свободно распространяемое ПО.
7. Отладчик OpenOCD — свободно распространяемое ПО (лицензия GPL).
8. Программный логический анализатор PulseView (sigrok) — свободно распространяемое ПО (лицензия GPL).
9. Средство моделирования электронных схем SimulIDE (или Qucs) — свободно распространяемое ПО.
10. Система автоматизированного проектирования печатных плат KiCad — свободно распространяемое ПО (лицензия GPL).
11. Терминальная программа для работы с последовательным портом (PuTTY, CoolTerm) — свободно распространяемое ПО.
12. Система контроля версий Git — свободно распространяемое ПО (лицензия GPL).

5 Материально-техническое обеспечение

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

Для проведения лабораторных занятий необходимо наличие лаборатории микропроцессорной техники, оборудованной современной вычислительной техникой из расчета одно рабочее место на одного обучающегося, а также следующего лабораторного оборудования:

- отладочные платы на базе 32-разрядных микроконтроллеров со встроенным программатором-отладчиком — из расчета один комплект на одно рабочее место;
- отладочные платы на базе 8-разрядных микроконтроллеров и отладочные комплекты на базе микроконтроллеров отечественного производства — не менее одного комплекта на два рабочих места;
- модули беспроводной связи и отладочные платы на базе микроконтроллеров со встроенными средствами беспроводной связи — не менее одного комплекта на два рабочих места;
- наборы датчиков (температуры, освещенности, давления, ускорения, положения) с цифровыми и аналоговыми выходами, микросхемы памяти, часы реального времени;

- модули отображения информации: знакосинтезирующие и графические дисплеи, светодиодные индикаторы;
- исполнительные устройства и драйверы: коллекторные и шаговые двигатели, сервоприводы, реле, драйверы силовых нагрузок;
- макетные платы, соединительные провода, комплектующие для монтажа — из расчета один комплект на одно рабочее место;
- цифровые осциллографы с полосой пропускания не менее 50 МГц — не менее одного на два рабочих места;
- логические анализаторы с числом каналов не менее восьми — не менее одного на два рабочих места;
- лабораторные источники питания, мультиметры, измерители тока потребления — не менее одного комплекта на два рабочих места;
- паяльные станции с системой вытяжки — не менее двух на лабораторию;
- локальная вычислительная сеть с доступом к сети Интернет и к электронной информационно-образовательной среде университета.

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, выдержки из технической документации на применяемые микроконтроллеры, примеры программного кода и задания для лабораторных работ, а также заранее проверить работоспособность отладочных плат, программаторов и измерительного оборудования.

При проведении занятия следует контролировать подачу материала и решение заданий с учетом учебного времени, отведенного для занятия. Лабораторные работы третьего семестра целесообразно выстраивать по принципу последовательного освоения периферийных блоков микроконтроллера, лабораторные работы четвертого семестра — как последовательную подготовку модулей будущего устройства с завершением в виде комплексной отладки макета, разрабатываемого в рамках курсовой работы. Обучающихся следует ориентировать на самостоятельную работу с технической документацией производителя как с основным источником сведений о микроконтроллере.

Перед началом работы с лабораторным оборудованием следует проводить инструктаж по технике безопасности при работе с электроустановками и паяльным оборудованием и контролировать соблюдение его требований. При проверке работ и отчетов следует учитывать не только работоспособность полученного решения, но и корректность конфигурирования периферии, обоснованность расчета параметров, отсутствие блокирующих задержек и небезопасной работы с разделяемыми данными, а также качество и читаемость программного кода.

При руководстве курсовой работой следует выдавать задания, соразмерные отведенной трудоемкости и доступной элементной базе, контролировать выполнение работы по этапам в соответствии с установленным графиком и обращать особое внимание на самостоятельность выполнения и на соответствие оформления пояснительной записки требованиям стандартов.

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 периферийные микросхемы, готовятся к защите лабораторных работ, к зачету и к экзамену, а также самостоятельно изучают отдельные темы учебной программы.

Особое внимание при подготовке следует уделять самостоятельной работе с документацией производителя: умение находить в справочном руководстве описание нужного регистра и порядок инициализации периферийного блока является ключевым профессиональным навыком, который не может быть заменен использованием готовых примеров. Полезно проверять поведение программы измерительными средствами, а не только по внешним признакам работы устройства.

Курсовую работу следует выполнять равномерно в течение семестра в соответствии с графиком, согласованным с руководителем. Рекомендуется начинать с уточнения требований и выбора элементной базы, проверять работоспособность отдельных подсистем по мере их разработки и не откладывать комплексную отладку и оформление пояснительной записки на завершающий этап.

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;
- решение расчетных задач по конфигурированию периферийных устройств;
- подготовка обзора (реферата) по семействам микроконтроллеров и технологиям построения встраиваемых систем;
- тест;
- зачет (3 семестр);
- выполнение и защита курсовой работы (4 семестр);
- экзамен (4 семестр).

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-5. Способен устанавливать программное и аппаратное обеспечение для информационных и автоматизированных систем.

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

ОПК-8. Способен разрабатывать алгоритмы и программы, пригодные для практического применения.

Показатель	2	3	4	5
знать: архитектуру микроконтроллера и организацию их памяти, состав и принципы работы периферийных устройств, систему прерываний, интерфейсы обмена, принципы организации	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие указанных знаний	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие указанных знаний, освещена основная, наиболее важная часть материала, допущена одна	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие указанных знаний, допускаются 2—3 незначительные ошибки и неточности	Обучающийся демонстрирует полное соответствие указанных знаний, свободно оперирует материалом дисциплины

Показатель	2	3	4	5
программного обеспечения встраиваемых систем		значительная ошибка или неточность		
уметь: работать с технической документацией на микроконтроллер, конфигурировать периферийные блоки, рассчитывать параметры их настройки, разрабатывать и отлаживать программы на языке С, подключать датчики и исполнительные устройства	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет выполнять указанные действия	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие указанных умений, испытывает значительные затруднения при переносе умений на новые ситуации	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие указанных умений, допускает незначительные ошибки и неточности	Обучающийся демонстрирует полное соответствие указанных умений, уверенно применяет их в нестандартных ситуациях
владеть: навыками применения инструментальных средств разработки и внутрисхемной отладки, наладки встраиваемых устройств с применением осциллографа и логического анализатора, проектирования и документирования законченного устройства	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет указанными навыками	Обучающийся владеет указанными навыками, но допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность навыков по ряду показателей	Обучающийся частично владеет указанными навыками, допускаются незначительные ошибки и затруднения при аналитических операциях	Обучающийся в полном объеме владеет указанными навыками, свободно оперирует приобретенным и знаниями

Шкалы оценивания результатов промежуточной аттестации и их описание:

Форма промежуточной аттестации в 3 семестре: зачет.

Промежуточная аттестация обучающихся в форме зачета проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю) в 3 семестре, при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра.

По итогам промежуточной аттестации выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено».

Шкала оценивания	Описание
зачтено	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом на 3 семестр. Все лабораторные работы выполнены и защищены. Обучающийся демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей и применяет их при решении типовых задач. Допускаются несущественные ошибки и неточности, не искажающие существа излагаемых вопросов. Присутствовал более чем на ½ занятий по дисциплине.
не зачтено	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом на 3 семестр, либо не защищена одна или более лабораторных работ. Обучающийся демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями.

Форма промежуточной аттестации в 4 семестре: экзамен, защита курсовой работы.

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 выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно». Оценка за курсовую работу выставляется по той же шкале отдельно от оценки за экзамен. К экзамену допускаются обучающиеся, защитившие курсовую работу.

Шкала оценивания	Описание
отлично	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Обучающийся демонстрирует соответствие знаний, умений,

Шкала оценивания	Описание
	навыков приведенным в таблицах показателей, свободно оперирует приобретенными знаниями, умениями и навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. Все лабораторные работы выполнены и защищены. Курсовая работа выполнена в полном объеме и в установленные сроки, макет устройства работоспособен, принятые решения обоснованы, пояснительная записка оформлена в соответствии с требованиями. 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. Курсовая работа выполнена в полном объеме, устройство работоспособно, имеются отдельные недостатки в обосновании решений или оформлении документации. 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. Курсовая работа выполнена не в полном объеме или с нарушением сроков, устройство работоспособно частично, документация содержит существенные недостатки. Присутствовал более чем на $\frac{1}{2}$ занятий по дисциплине.
неудовлетворительно	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом, либо курсовая работа не выполнена или не защищена. Обучающийся демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, обучающийся испытывает

Шкала оценивания	Описание
	значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

7.3 Оценочные средства

7.3.1 Список вопросов для зачета (3 семестр)

1. Встраиваемые системы: понятие, отличия от универсальных вычислительных систем.
2. Микропроцессор, микроконтроллер, система на кристалле: соотношение понятий.
3. Классификация микроконтроллеров. Обзор распространенных семейств.
4. Гарвардская и фон-неймановская архитектуры. Системы команд RISC и CISC.
5. Критерии выбора микроконтроллера для решения прикладной задачи.
6. Структурная схема микроконтроллера. Назначение основных блоков.
7. Организация памяти микроконтроллера. Карта памяти. Стек.
8. Система тактирования микроконтроллера. Источники тактового сигнала.
9. Схема сброса. Источники сброса и их идентификация. Начальная загрузка.
10. Режимы пониженного энергопотребления и источники пробуждения.
11. Состав инструментального комплекса разработчика. Процесс кросс-компиляции.
12. Особенности применения языка C при программировании микроконтроллеров.
13. Назначение квалификатора volatile. Работа с регистрами периферийных устройств.
14. Уровни доступа к аппаратуре: регистры, библиотеки аппаратной абстракции, генераторы кода.
15. Средства загрузки программы в память микроконтроллера. Внутрисистемное программирование.
16. Внутрисхемная отладка: возможности и порядок применения.
17. Структура порта ввода-вывода. Режимы работы выводов.

18. Схемы выходного каскада. Подтягивающие резисторы. Подключение светодиодов.
19. Подключение кнопок. Дребезг контактов и методы его подавления.
20. Опрос матричной клавиатуры.
21. Понятие прерывания. Сравнение обработки событий по прерыванию и программным опросом.
22. Контроллер прерываний. Таблица векторов, приоритеты, вложенность.
23. Последовательность действий процессора при возникновении прерывания. Время реакции.
24. Требования к обработчикам прерываний.
25. Разделяемые данные и состязания при доступе к ним. Критические секции.
26. Внешние прерывания по фронту и по уровню сигнала.
27. Структура таймера-счетчика. Предделитель. Расчет периода переполнения.
28. Режимы работы таймера. Формирование системного тика и программных таймеров.
29. Режим захвата: измерение периода, частоты и длительности импульсов.
30. Широтно-импульсная модуляция: принцип, частота и разрешение, расчет параметров.
31. Применение ШИМ для регулирования мощности и управления сервоприводами.
32. Сторожевой таймер: назначение и порядок применения.
33. Принципы построения аналого-цифровых преобразователей и их основные параметры.
34. Опорное напряжение. Каналы и режимы работы преобразователя.
35. Запуск преобразования и обработка результатов. Пересчет в физические величины.
36. Программная фильтрация результатов измерений. Калибровка.
37. Формат кадра UART. Расчет скорости передачи и допустимая погрешность тактирования.
38. Организация приема и передачи по UART: опрос флагов, прерывания, кольцевые буферы.
39. Физические уровни последовательного интерфейса: RS-232 и RS-485.
40. Разработка протокола прикладного уровня поверх UART. Контрольные суммы и тайм-ауты.

41. Интерфейс SPI: линии, режимы, порядок обмена, подключение нескольких ведомых устройств.
42. Интерфейс I2C: адресация, условия начала и остановки, подтверждение, арбитраж.
43. Сравнительная характеристика интерфейсов UART, SPI и I2C.
44. Диагностика обмена по последовательным интерфейсам с применением логического анализатора.

7.3.2 Список вопросов для экзамена (4 семестр)

1. Архитектура микроконтроллера: ядро, память, тактирование, режимы работы.
2. Система прерываний микроконтроллера. Требования к обработчикам прерываний.
3. Таймеры-счетчики: режимы работы и области применения.
4. Широтно-импульсная модуляция и ее применение.
5. Аналого-цифровое преобразование: параметры, режимы, обработка результатов.
6. Последовательные интерфейсы UART, SPI, I2C: сравнительная характеристика.
7. Контроллер прямого доступа к памяти: назначение, режимы, настройка канала.
8. Влияние прямого доступа к памяти на загрузку процессора и пропускную способность.
9. Режимы пониженного энергопотребления. Приемы снижения энергопотребления устройства.
10. Расчет времени автономной работы устройства с батарейным питанием.
11. Часы реального времени: тактирование, резервное питание, календарь и будильник.
12. Типы энергонезависимой памяти и их характеристики.
13. Самопрограммирование памяти программ. Реализация загрузчика и обновления программного обеспечения.
14. Хранение параметров конфигурации устройства и обеспечение целостности данных.
15. Работа с картами памяти и файловыми системами во встраиваемых устройствах.
16. Светодиодные и семисегментные индикаторы. Динамическая индикация.

17. Знакосинтезирующие жидкокристаллические модули: интерфейс и система команд.
18. Графические дисплеи: организация видеопамати, вывод изображения, буферизация.
19. Устройства ввода: кнопки, клавиатуры, поворотные энкодеры, сенсорные панели.
20. Построение экранного меню встраиваемого устройства на основе конечного автомата.
21. Согласование микроконтроллера с силовыми цепями. Ключи, драйверы, гальваническая развязка.
22. Управление коллекторным двигателем постоянного тока. Мостовые схемы.
23. Шаговые двигатели: режимы управления, формирование последовательности импульсов.
24. Обратная связь по положению и скорости. Обработка сигналов квадратурного энкодера.
25. Особенности вычислений на микроконтроллере. Арифметика с фиксированной точкой.
26. Дискретизация сигналов. Теорема Котельникова и наложение спектров.
27. Цифровые фильтры, реализуемые на микроконтроллере, и их сравнительная характеристика.
28. Дискретная форма пропорционально-интегрально-дифференциального закона регулирования.
29. Настройка регулятора. Ограничение интегральной составляющей.
30. Интерфейс CAN: физический уровень, формат кадра, арбитраж.
31. Подключение микроконтроллера к сетям Ethernet. Облегченные реализации стека протоколов.
32. Беспроводные интерфейсы встраиваемых устройств: обзор и области применения.
33. Передача телеметрических данных на сервер. Обеспечение надежности обмена.
34. Основы защиты информационного обмена встраиваемого устройства.
35. Схемы организации программы микроконтроллера и их сравнительная характеристика.
36. Проектирование программы на основе конечных автоматов.
37. Обмен данными между обработчиками прерываний и фоновыми задачами.

38. Понятие реального времени. Жесткие и мягкие временные ограничения.
39. Операционные системы реального времени: основные понятия и условия целесообразности применения.
40. Модульная структура проекта. Разделение аппаратно-зависимого и прикладного уровней.
41. Особенности отладки встраиваемых систем. Средства внутрисхемной отладки.
42. Применение осциллографа и логического анализатора при наладке устройства.
43. Измерение времени выполнения кода и оценка загрузки процессора.
44. Типовые ошибки в программах для микроконтроллеров и способы их выявления.
45. Обеспечение отказоустойчивости встраиваемого устройства. Перевод в безопасное состояние.
46. Тестирование программного обеспечения встраиваемых систем.
47. Этапы разработки встраиваемого устройства. Формирование технического задания.
48. Обоснование выбора микроконтроллера и элементной базы. Оценка вычислительных ресурсов.
49. Проектирование схемы питания устройства. Вопросы помехоустойчивости.
50. Состав технической документации на встраиваемое устройство и требования к ее оформлению.

7.3.3 Примерные темы курсовых работ

Курсовая работа предусматривает разработку законченного встраиваемого устройства на базе микроконтроллера, включая обоснование элементной базы, разработку схемы и программного обеспечения, отладку макета и оформление технической документации.

1. Разработка многоканального измерителя температуры с регистрацией результатов в энергонезависимой памяти.
2. Разработка терморегулятора с пропорционально-интегрально-дифференциальным законом регулирования и настройкой параметров с клавиатуры.
3. Разработка метеостанции с отображением показаний на графическом дисплее и передачей данных по беспроводному каналу.
4. Разработка системы контроля микроклимата помещения с управлением вентиляцией и увлажнением.

5. Разработка контроллера освещения с датчиком освещенности, датчиком движения и таймером расписания.
6. Разработка устройства управления шаговым двигателем с заданием траектории и контролем положения.
7. Разработка регулятора частоты вращения двигателя постоянного тока с обратной связью по квадратурному энкодеру.
8. Разработка цифрового измерителя частоты и длительности импульсов на базе режима захвата таймера.
9. Разработка регистратора данных с записью измерений на карту памяти и отметками времени от часов реального времени.
10. Разработка системы контроля доступа с идентификацией по бесконтактному ключу и журналированием событий.
11. Разработка устройства мониторинга параметров электропитания с сигнализацией о выходе за допустимые пределы.
12. Разработка контроллера автоматического полива с учетом влажности почвы и расписания.
13. Разработка охранного устройства с набором датчиков и оповещением по беспроводному каналу связи.
14. Разработка узла распределенной системы сбора данных с обменом по интерфейсу RS-485 и протоколу Modbus RTU.
15. Разработка узла системы управления с обменом по интерфейсу CAN.
16. Разработка устройства беспроводной передачи телеметрии с обеспечением длительной автономной работы.
17. Разработка контроллера заряда аккумуляторной батареи с индикацией состояния и защитой от нештатных режимов.
18. Разработка цифрового генератора сигналов заданной формы с управлением параметрами через меню.
19. Разработка устройства контроля качества воздуха с индикацией уровня загрязнения и передачей данных.
20. Разработка панели управления инженерным оборудованием с графическим меню и энкодером.
21. Разработка учебного стенда для демонстрации работы последовательных интерфейсов микроконтроллера.
22. Разработка устройства подсчета и учета объектов на основе оптических датчиков.
23. Разработка контроллера умной розетки с измерением потребляемой мощности и дистанционным управлением.
24. Разработка устройства голосового или звукового оповещения на базе микроконтроллера и внешней памяти.

25. Разработка модуля сопряжения датчиков с персональным компьютером с собственным протоколом обмена.

7.3.4 Примерные темы обзоров (рефератов)

- Сравнительный анализ современных семейств 32-разрядных микроконтроллеров.
- Микроконтроллеры отечественного производства: обзор номенклатуры и средств разработки.
- Сравнительный анализ подходов к разработке программного обеспечения: регистровый уровень и библиотеки аппаратной абстракции.
- Операционные системы реального времени для микроконтроллеров: обзор и критерии выбора.
- Методы снижения энергопотребления встраиваемых устройств с автономным питанием.
- Средства внутрисхемной отладки и трассировки выполнения программ.
- Стандарты и рекомендации по разработке программного кода для встраиваемых систем.
- Обеспечение информационной безопасности встраиваемых устройств.