

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники

И.М. Васильев

**Программирование микроконтроллеров для робототехнических систем**

Методические указания к лабораторным занятиям для обучающихся  
технических направлений подготовки

Томск  
2023

**УДК 61.337**  
**ББК 31.264**  
В 19

**Рецензент:**

**Антипин М. А.**, доцент каф. управления инновациями ТУСУР,  
канд. физ.-мат. наук

**Васильев, Иван Михайлович**

В19 Программирование микроконтроллеров для робототехнических систем / И.М. Васильев – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2023. – 11 с.

Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине «Программирование микроконтроллеров для робототехнических систем» разработаны для студентов бакалавриата, обучающихся по техническим направлениям подготовки. Они содержат необходимые разъяснения по форме организации лабораторных занятий и ориентированы на достижение результатов образовательной деятельности в соответствии с ФГОС 3++ по указанному направлению.

Одобрено на заседании кафедры Управления инновациями, протокол № 4 от 23.11.2023.

УДК 61.337  
ББК 31.264

© Васильев И.М. 2023  
© Томск.гос. ун-т систем  
упр. и радиоэлектроники,  
2023

## Оглавление

Введение.....	4
1 Материально-техническое обеспечение лабораторных занятий.....	4
2 Прием результатов выполнения лабораторных заданий.....	5
3 Темы и задания для лабораторных занятий.....	5
4 Вопросы для самоконтроля.....	10
5 Список рекомендуемой литературы.....	11

## **Введение**

Дисциплина «Программирование микроконтроллеров для робототехнических систем» играет важную роль в развитии готовности обучающихся к использованию и работы с микроконтроллерами в области будущей профессиональной деятельности – мехатронике и робототехнике и направлена на овладение обучающимися навыками решения стандартных задач профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности в рамках ПК-2.

Изучение дисциплины способствует формированию у обучающихся умений и навыков работы с микроконтроллерами архитектуры RISC, а также усвоению знаний, связанных с решением встречающихся в практике инженерной деятельности различных технических задач.

Задания, предусмотренные настоящими указаниями, выполняются студентами во время аудиторных занятий индивидуально или в групповом формате под контролем со стороны преподавателя. Все консультации осуществляются преподавателем.

Перед началом занятий студенты должны изучить инструкцию по охране труда. Преподаватель должен убедиться в знании инструкции, задавая студенту вопросы по ее содержанию, после чего сделать соответствующую запись в журнале охраны труда.

Во время проведения лабораторных занятий в аудитории студентам запрещается передавать друг другу файлы и другие материалы, являющиеся результатом выполнения заданий.

Студент имеет право просить консультации у преподавателя, если он в текущий момент не распределяет задания, не принимает выполненные работы и не консультирует другого студента.

Преподаватель, давая консультацию студенту, указывает раздел технической документации или методической литературы, в которой имеется ответ на вопрос студента. Если необходимые сведения в документации и литературе отсутствуют, то преподаватель должен дать устные пояснения или продемонстрировать практические действия, приводящие к требуемому результату, с последующим повторением студентом.

Консультации, выдача лабораторных заданий и прием результатов выполнения осуществляется только во время аудиторных занятий. Задания выполняются последовательно. Правильное выполнение некоторых заданий возможно только, если студент корректно выполнил предыдущие задания. Поэтому приступать к следующему заданию студент может, только сдав преподавателю результат выполнения предыдущего.

### **1 Материально-техническое обеспечение лабораторных занятий**

Лаборатория робототехнических манипуляторов  
Учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа  
634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 224 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

Комплект для изучения робототехники Promobot Rooky;

IP-камеры;

Магнитно-маркерная доска;

Кондиционер настенного типа;

Комплект специализированной учебной мебели;

Рабочее место преподавателя.

Размещение и освещенность рабочих мест в учебной аудитории должно удовлетворять действующим требованиям санитарных правил и норм (СанПиН).

## 2 Прием результатов выполнения лабораторных заданий

Результаты выполнения лабораторных заданий демонстрируются преподавателю. Во время приема выполненной работы преподаватель вправе:

- требовать у студента демонстрации выполненного задания в виде файлов, текстов, таблиц, мнемосхем, рисунков, в том числе, по возможности и необходимости, в бумажном письменном или распечатанном виде, либо в электронном виде (при размещении результатов выполнения заданий в системе Moodle);
- требовать у студента пояснений, относящихся к способам реализации задания.

Задание считается выполненным и принимается преподавателем только в том случае, если получены все результаты, предусмотренные заданием. Если какие-то результаты, предусмотренные заданием, не получены или неверны, то задание подлежит доработке.

Студент должен работать внимательно и аккуратно. Подлежат обязательному исправлению замеченные преподавателем недочеты:

- неправильное решение заданий;
- небрежное оформление рисунков, графиков, структур, схем;
- неточности в описаниях, структурах, схемах.

Результаты выполнения заданий сохраняются студентом в электронном виде (файлы), а также, если возможно и удобно, в бумажном формате, до получения дифференцированного зачета по данной дисциплине.

До начала экзаменационной сессии студент должен сдать результаты выполнения всех лабораторных заданий, предусмотренных настоящими указаниями. В противном случае студенты к сдаче зачета не допускаются.

## 3 Темы и задания для лабораторных занятий

### 3.1 Работа с портами ввода/вывода микроконтроллеров

**Тема занятия 1** – Начало работы. Основы языка Си для микроконтроллеров.

**Цель занятия:** познакомиться с основными командами и структурами языка Си.

**Теоретический материал** для этого занятия представлен в материалах. 1) Солдатов А. И., Торгаев С. Н., Лежнина И. А., Громов М. Л., Хан В., Костина М. А. Основы программирования на языке СИ: учеб. пособие / Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2018. – 122 с.

#### **Задания для студентов:**

Знакомство со структурой написания программы, основными действиями и событиями. Форма представления результата: участие в выполнении упражнений, предоставление обратной связи и результатов упражнений.

**Тема занятия 2** – Битовые операции в языке Си.

**Цель занятия:** получение навыков работы битовыми операциями, работа с регистрами микроконтроллеров.

**Теоретический материал** для этого занятия представлен в материалах 1) Основы программирования на языке СИ : учебное пособие / А. И. Солдатов, С. Н. Торгаев, И. А. Лежнина [и др.]. — Москва : ТУСУР, 2018. — 96 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/313346> (дата обращения: 15.11.2023).

#### **Задания для студентов:**

Выполнение упражнений булевой алгебры, работа с условиями.

Исходные данные: упражнения, предлагаемые преподавателем. Форма представления результата: участие в выполнении упражнений, предоставление обратной связи и результатов упражнений.

**Тема занятия 3** – Работа с портами ввода-вывода микроконтроллеров.

**Цель занятия:** получение навыков самостоятельной работы с технической документацией микроконтроллера для работы с портами ввода-вывода.

**Теоретический материал** 1) Трипольский, П. Э. Микропроцессорная техника в мехатронике и робототехнике : методические указания / П. Э. Трипольский. — Москва : РТУ МИРЭА, 2022. — 40 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/310793> (дата обращения: 15.11.2023)

**Задания для студентов:**

Написание простейших программ для управления выводами микроконтроллера

Исходные данные: упражнения, предлагаемые преподавателем. Форма представления результата: участие в выполнении упражнений, предоставление обратной связи и результатов упражнений.

### 3.2 Изучение внешних и внутренних прерываний микроконтроллера

**Тема занятия 4** – Аппаратные прерывания

**Цель занятия:** Ознакомление со служебными регистрами, понятие глобального прерывания

**Теоретический материал** 1) Трипольский, П. Э. Микропроцессорная техника в мехатронике и робототехнике : методические указания / П. Э. Трипольский. — Москва : РТУ МИРЭА, 2022. — 40 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/310793> (дата обращения: 15.11.2023)

**Задания для студентов:**

Ознакомится с назначениями битов служебных регистров микроконтроллера, и применением их для организации аппаратного прерывания.

Исходные данные: задания преподавателя. Форма представления результата: участие в выполнении упражнений, предоставление обратной связи и результатов упражнений.

**Тема занятия 5** – Память микроконтроллера

**Цель занятия:** получение навыков работы с внутренней памятью микроконтроллера.

**Теоретический материал** 1) Трипольский, П. Э. Микропроцессорная техника в мехатронике и робототехнике : методические указания / П. Э. Трипольский. — Москва : РТУ МИРЭА, 2022. — 40 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/310793> (дата обращения: 15.11.2023)

**Задания для студентов:**

Введение разграничений по применяемой области памяти, использование аппаратных ресурсов для хранения данных

Исходные данные: упражнения, предлагаемые преподавателем. Форма представления результата: участие в выполнении упражнений, предоставление обратной связи и результатов упражнений.

**Тема занятия 6** – Источники внешние прерывания

**Цель занятия:** познакомиться с источниками внешних прерываний, применение аппаратных прерываний для создания программных прерываний

**Теоретический материал** для этого занятия представлен в материалах. 1) Трипольский, П. Э. Микропроцессорная техника в мехатронике и робототехнике : методические указания / П. Э. Трипольский. — Москва : РТУ МИРЭА, 2022. — 40 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/310793> (дата обращения: 15.11.2023)

**Задания для студентов:**

Реализация программы для аппаратного считывания внешнего воздействия в виде электрического импульса.

Форма представления результата: участие в выполнении упражнений, предоставление обратной связи и результатов упражнений.

**Тема занятия 7 – Групповые прерывания**

**Цель занятия:** получение навыков работы с групповыми прерываниями, особенности архитектуры PCINT прерываний.

**Теоретический материал** 1) Трипольский, П. Э. Микропроцессорная техника в мехатронике и робототехнике : методические указания / П. Э. Трипольский. — Москва : РТУ МИРЭА, 2022. — 40 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/310793> (дата обращения: 15.11.2023)

**Задания для студентов:**

Выполнение упражнений по работе с групповыми прерываниями.

Исходные данные: упражнения, предлагаемые преподавателем. Форма представления результата: участие в выполнении упражнений, предоставление обратной связи и результатов упражнений.

**3.3 Изучение системы тактирования микроконтроллеров, работа с таймерами.****Тема занятия 8 – Система тактирования микроконтроллера, понятие системной частоты**

**Цель занятия:** получение знаний об особенностях тактирования микроконтроллеров

**Теоретический материал** 1) Трипольский, П. Э. Микропроцессорная техника в мехатронике и робототехнике : методические указания / П. Э. Трипольский. — Москва : РТУ МИРЭА, 2022. — 40 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/310793> (дата обращения: 15.11.2023)

**Задания для студентов:**

Расчет временных интервалов периода частоты, работа с делителями частоты.

Исходные данные: упражнения, предлагаемые преподавателем. Форма представления результата: участие в выполнении упражнений, предоставление обратной связи и результатов упражнений

**Тема занятия 9 – Работы с таймерами**

**Цель занятия:** Работа с таймерами в разных режимах, расчет времени срабатывания таймера при заданных параметрах тактирования

**Теоретический материал** 1) Трипольский, П. Э. Микропроцессорная техника в мехатронике и робототехнике : методические указания / П. Э. Трипольский. — Москва : РТУ МИРЭА, 2022. — 40 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/310793> (дата обращения: 15.11.2023)

**Задания для студентов:**

Выполнить программу, позволяющую менять частоту выходного сигнала на программном уровне

Исходные данные: задания преподавателя. Форма представления результата: участие в выполнении упражнений, предоставление обратной связи и результатов упражнений.

**Тема занятия 10 Прерывания таймеров, работа таймера в режиме CTC**

**Цель занятия:** получение навыков формирования сигнала заданной частоты

**Теоретический материал** 1) Трипольский, П. Э. Микропроцессорная техника в мехатронике и робототехнике : методические указания / П. Э. Трипольский. — Москва : РТУ

МИРЭА, 2022. — 40 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/310793> (дата обращения: 15.11.2023)

**Задания для студентов:**

Выполнить программу, позволяющую менять частоту выходного сигнала на аппаратном уровне

Исходные данные: упражнения, предлагаемые преподавателем. Форма представления результата: участие в выполнении упражнений, предоставление обратной связи и результатов упражнений.

**Тема занятия 11 – ШИМ**

**Цель занятия:** понятие ШИМ, методы управления ШИМ, аппаратная ШИМ

**Теоретический материал** 1) Трипольский, П. Э. Микропроцессорная техника в мехатронике и робототехнике : методические указания / П. Э. Трипольский. — Москва : РТУ МИРЭА, 2022. — 40 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/310793> (дата обращения: 15.11.2023)

**Задания для студентов:**

Обеспечить выполнением ШИМ для плавного изменения состояния подключенного устройства

Исходные данные: задания преподавателя. Форма представления результата: участие в выполнении упражнений, предоставление обратной связи и результатов упражнений.

**Тема занятия 12 – Управление сервоприводами**

**Цель занятия:** Применение полученных знаний и навыков для управления сервоприводами

**Теоретический материал** 1) Трипольский, П. Э. Микропроцессорная техника в мехатронике и робототехнике : методические указания / П. Э. Трипольский. — Москва : РТУ МИРЭА, 2022. — 40 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/310793> (дата обращения: 15.11.2023)

**Задания для студентов:**

Управление одним или несколькими сервоприводами используя аппаратные ресурсы микроконтроллера.

Исходные данные: упражнения, предлагаемые преподавателем. Форма представления результата: участие в выполнении упражнений, предоставление обратной связи и результатов упражнений.

**Тема занятия 13 – Управление шаговыми двигателями**

**Цель занятия:** Управление шаговыми двигателями с помощью внешних преобразователей уровня.

**Теоретический материал** для этого занятия представлен в материалах. 1) Трипольский, П. Э. Микропроцессорная техника в мехатронике и робототехнике : методические указания / П. Э. Трипольский. — Москва : РТУ МИРЭА, 2022. — 40 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/310793> (дата обращения: 15.11.2023)

**Задания для студентов:**

Управление одним или несколькими шаговыми двигателями используя аппаратные ресурсы микроконтроллера.

представления результата: участие в выполнении упражнений, предоставление обратной связи и результатов упражнений.

**Тема занятия 14 АЦП.**

**Цель занятия:** ознакомится с принципами работы АЦП. Понятие опорного напряжения.



**Теоретический материал** 1) Трипольский, П. Э. Микропроцессорная техника в мехатронике и робототехнике : методические указания / П. Э. Трипольский. — Москва : РТУ МИРЭА, 2022. — 40 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/310793> (дата обращения: 15.11.2023)

**Задания для студентов:**

Считывание микроконтроллером аналогового сигнала, определение погрешности измерений. Исходные данные: упражнения, предлагаемые преподавателем. Форма представления результата: участие в выполнении упражнений, предоставление обратной связи и результатов упражнений.

**Тема занятия 15 – Основные параметры АЦП. Прерывания АЦП**

**Цель занятия:** Оптимизация выполнения аппаратного преобразования АЦП. Влияние времени преобразования на точность измерений.

**Теоретический материал** 1) Трипольский, П. Э. Микропроцессорная техника в мехатронике и робототехнике : методические указания / П. Э. Трипольский. — Москва : РТУ МИРЭА, 2022. — 40 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/310793> (дата обращения: 15.11.2023)

**Задания для студентов:**

Выполнить преобразование АЦП на аппаратном уровне при различных условиях. Исходные данные: упражнения, предлагаемые преподавателем. Форма представления результата: участие в выполнении упражнений, предоставление обратной связи и результатов упражнений.

**Тема занятия 16 – ЦАП**

**Цель занятия:** ознакомится с принципами работы ЦАП.

**Теоретический материал** 1) Трипольский, П. Э. Микропроцессорная техника в мехатронике и робототехнике : методические указания / П. Э. Трипольский. — Москва : РТУ МИРЭА, 2022. — 40 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/310793> (дата обращения: 15.11.2023)

**Задания для студентов:**

Формирование сигнала сложной формы. Исходные данные: задания преподавателя. Форма представления результата: участие в выполнении упражнений, предоставление обратной связи и результатов упражнений.

**Тема занятия 17 – Последовательные интерфейсы**

**Цель занятия:** ознакомится с основой передачи данных по последовательной линии

**Теоретический материал** 1) Трипольский, П. Э. Микропроцессорная техника в мехатронике и робототехнике : методические указания / П. Э. Трипольский. — Москва : РТУ МИРЭА, 2022. — 40 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/310793> (дата обращения: 15.11.2023)

**Задания для студентов:**

Передать данные от одного микроконтроллеру другому. Исходные данные: упражнения, предлагаемые преподавателем. Форма представления результата: участие в выполнении упражнений, предоставление обратной связи и результатов упражнений.

**Тема занятия 18 – Прерывания последовательных интерфейсов**

**Цель занятия:** изучение основных способов приема данных – polling и прерывание

**Теоретический материал** 1) Трипольский, П. Э. Микропроцессорная техника в мехатронике и робототехнике : методические указания / П. Э. Трипольский. — Москва : РТУ МИРЭА, 2022. — 40 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/310793> (дата обращения: 15.11.2023)

**Задания для студентов:**

Оптимизировать код приема данных для обхода условий

Исходные данные: задания преподавателя. Форма представления результата: участие в выполнении упражнений, предоставление обратной связи и результатов упражнений.

#### **4 Вопросы для самоконтроля**

1. Основные битовые операции.
2. Регистры направленности данных.
3. Назначение служебных регистров.
4. Источники внешних прерываний.
5. Аппаратные прерывания.
6. Режимы работы таймеров.
7. Прерывания таймеров.
8. Использование аппаратных ресурсов внутренних таймеров.
9. Основные параметры АЦП.
10. Метод формирования сигнала сложной формы с помощью ЦАП.
11. Особенности последовательной передачи данных.
12. Особенности использования прерываний для последовательного интерфейса.

## 5 Список рекомендуемой литературы

1. Трипольский, П. Э. Микропроцессорная техника в мехатронике и робототехнике : методические указания / П. Э. Трипольский. — Москва : РТУ МИРЭА, 2022. — 40 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/310793> (дата обращения: 15.11.2023)
2. Солдатов А. И., Торгаев С. Н., Лежнина И. А., Громов М. Л., Хан В., Костина М. А. Основы программирования на языке СИ: учеб. пособие / А.И. Солдатов [и др.]. - Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2018. – 122 с.
3. Мортон, Д. Микроконтроллеры AVR. Вводный курс : руководство / Д. Мортон. — Москва : ДМК Пресс, 2010. — 271 с. — ISBN 978-5-94120-096-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/60971> (дата обращения: 15.11.2023).