

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный универ-  
ситет  
им. Н.И. Лобачевского»**

радиофизический

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО  
решением ученого совета  
ННГУ  
протокол от  
«31» мая 2023 г. № 6

**Рабочая программа дисциплины**

Встроенные системы реального времени

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

магистратура

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

02.04.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии»

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Информационная безопасность и защита информации

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2023 год

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к обязательной части профессионального цикла ООП и обязательна для освоения на первом году обучения в первом семестре.

### Целью освоения дисциплины

является ознакомление и обучение аппаратным и программным средствам систем реального времени, предназначенных для использования в устройствах и системах сбора и обработки данных, при выполнении научно-исследовательских работ, в автоматизированных системах научных исследований (АСНИ), системах управления и контроля. Основная цель – сформировать представление о современных аппаратных и программных средствах систем реального времени и области их применения.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

<b>Формируемые компетенции</b> (Код компетенции, этап формирования)	<b>Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций</b>
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий  (этап освоения базовый)	УК-1.1.Знает методы критического анализа проблемных ситуаций в области системного и прикладного программирования, математических, информационных и имитационных моделей, УК-1.3.Владеет основами системного подхода к анализу проблемных ситуаций в области системного и прикладного программирования.
ОПК-1. Способен находить, формулировать и решать актуальные проблемы прикладной математики, фундаментальной информатики и информационных технологий  (этап освоения базовый)	ОПК-1.3. Имеет практический опыт работы с решением математических задач и применяет его в профессиональной деятельности с использованием современного математического аппарата.

## 3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет всего 108 часов, 3 зачетные единицы, из которых 36 часов – контактная работа с преподавателем (20 часов – занятия семинарского и 16 часов – лабораторного типа), в том числе 2 часа – мероприятия текущего контроля успеваемости, 34 часа – самостоятельная работа обучающегося, 36 часов – экзамен.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	В том числе																	
	Всего (часы)			Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них									Самостоятельная работа обучающегося, часы					
				Занятия лекционного типа			Занятия семинарского типа			Занятия лабораторного типа						Всего		
	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное
Тема 1. Общие сведения о системах реального времени и их программном и аппаратном обеспечении.	1						1						1					
Тема 2. Операционные системы реального времени (ОСРВ) для однокристальных микроконтроллеров.	10	6					4			6			10				6	
Тема 3. Операционная система μC/OS-II для микроконтроллеров ф. Advanced RISC Machines, Ltd.	2	6					2						2				6	
Тема 4. Микропроцессоры компании ARM Limited	5	6					5						5				6	
Тема 5. Многопроцессорный параллелизм. Транспьютеры.	4	4					4						4				4	
Тема 6. Микропроцессоры с гарвардской архитектурой и микросистемы на их основе	4	6					4						4				6	
Тема 7. Микросистемы на базе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) и предназначенные для них системы автоматического проектирования (САПР).	10	8								10			10				8	
В т.ч. текущий контроль	2						2						2					
Промежуточная аттестация - экзамен																		

#### 4. Образовательные технологии

Изучения дисциплины сопровождается лабораторным практикумом, в рамках которого осваиваются две системы автоматического проектирования (САПР), предназначенные для разработки программного обеспечения систем реального времени на персональном компьютере. Таковыми являются Интегрированная среда разработки (IDE) компании IAR Systems для программирования устройств на микроконтроллерах фирмы Texas Instruments и среда Xilinx ISE 14, имеющая средства схемотехнического и высокоуровневого на языке VHDL программирования микросистем на программируемой логике. Целевыми системами являются подключаемые к компьютеру через USB порт платы – одна с микроконтроллером семейства MSP430 ф. Texas Instruments, другая – с микросхемой программируемой логики Spartan 3N ф. Xilinx. Освоение названных САПР и их взаимодействие с целевыми системами происходит под руководством преподавателя.

Выполняется лабораторная работа

Наименование лабораторной работы	Раздел дисциплины
Синтез и реализация цифрового фильтра на ПЛИС (Разработка кода конфигурации ПЛИС на языке VHDL в среде Xilinx ISE 14)	2, 10

#### 5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся обеспечена учебными пособиями и методическими разработками для лабораторных работ. Учебно-методические разработки содержат необходимый для контроля освоения дисциплины перечень вопросов, по ответам на которые в процессе выполнения лабораторных работ производится контроль приобретённых знаний. Кроме того каждый студент оформляет отчёт по выполненной работе, в котором содержится объяснение технологии программирования целевой системы с привлечением преподаваемого в лекциях материала.

#### 6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

**6.1.** Дисциплина «Встроенные системы реального времени» участвует в формировании компетенций УК-1 и ОПК-1. Формирование компетенций распределено по всем разделам семинарских и лабораторным занятиям. В результате обучающийся приобретает способность:

- (1) осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий (УК-1);
- (2) находить, формулировать и решать актуальные проблемы прикладной математики, фундаментальной информатики и информационных технологий (ОПК-1).

Компетенции оцениваются по ответам на контрольные вопросы при допуске к лабораторным работам и в ходе их выполнения, а также по письменному отчёту, завершающему выполнение каждой лабораторной работы. Заключительная оценка качества формирования компетенций происходит на экзамене.

Оценка сформированности компетенций происходит в соответствии с таблицей индикаторов.

Индикаторы компетенции	ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	Очень хорошо	отлично	превосходно
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полностью знания из-за отказа обучающегося от ответов.	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько незначительных ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа.	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

## 6.2. Описание шкал оценивания

Шкала оценивания знаний учитывает содержательность ответов на вопросы, сформулированные в разделе 6.3

Превосходно	Ставится, если экзаменуемый может дать исчерпывающие ответы на все вопросы, сформулированные в п.п. 6.3.
Отлично	Ставится, если знания достаточны для исчерпывающего ответа на любой из вопросов от 1-го до 24-го, от 26-го до 32-го и есть ориентация по остальным вопросам.
Очень хорошо	Ставится, если есть исчерпывающие знания по вопросам 26-го до 32-го, 8-11 и 36 и есть ориентация на уровне общих представлений по остальным вопросам.
Хорошо	Ставится, если экзаменуемый имеет знания по вопросам 1-19, 26-32 и плохо ориентируется в области, обозначенной другими вопросами.
Удовлетворительно	Ставится, если есть твердые знания по вопросам 1-19, знания по вопросам 26-32 недостаточные, а по всем остальным вопросам отсутствуют.
Неудовлетворительно	Ставится, если есть слабые знания по вопросам 1-19 и 26-32, а знания по всем остальным вопросам отсутствуют.
Плохо	Ставится, если отсутствуют знания по всем вопросам.

## 6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине, характеризующих этапы формирования компетенций УК-1, ОПК-1

*Для оценивания результатов обучения в виде знаний используется правильность ответов на следующие вопросы:*

1. Основные характеристики встроенных систем как систем реального времени.
2. Особенности аппаратного и программного обеспечения систем реального времени.
3. Система прерываний и механизм энергосбережения в микроконтроллерах.
4. Структура микропроцессоров (МП) с ядрами ARM7TDMI и ARM9TDMI.
5. Регистровая модель МП с ядрами ARM7TDMI и ARM9TDMI.
6. Альтернативные регистры, как механизм аппаратной поддержки реального времени: состав и предназначение.
7. Иерархия памяти.
8. Механизм виртуальной адресации.
9. Механизм адресации, реализующий поддержку многозадачности.
10. Исключительные ситуации (исключения) и режимы работы МП с ядрами ARM7TDMI и ARM9TDMI.
11. Последовательность действий при обработке исключительных ситуаций (запросов прерывания, в частности).
12. Структура микроконтроллера для коммуникационных приложений
13. Особенности гарвардской архитектуры. Структура шин адреса и данных цифрового процессора сигналов семейства ADSP 21xx.
14. Ядро ЦПС семейства ADSP 21xx. Структура и функциональные блоки ADSP 21xx.
15. Устройство управления последовательностью выборки команд (Program Sequencer): назначение, состав принцип работы.
16. Устройства генерации адресов памяти данных (DAG1 и DAG2): регистры устройств, режимы (способы) адресации данных.
17. Арифметическо-логическое устройство (ALU) ЦПС семейства ADSP 21xx.

18. Умножитель-аккумулятор (MAC) ЦПС семейства ADSP 21xx.
19. Альтернативные регистры и их предназначение.
20. Набор и формат команд ЦПС семейства ADSP 21xx.
21. Система прерывания ЦПС семейства ADSP 21xx.
22. ЦПС семейства ADSP 2106x с архитектурой SHARC. Структура шин адреса и данных.
23. Особенности подсистемы ввода/вывода, механизм обмена данными с устройствами ввода/вывода ЦПС семейства ADSP 2106x.
24. Способы построения многопроцессорных систем на базе ADSP 2106x.
25. Разновидности архитектурного построения программного обеспечения встроенных систем.
26. Задача (задание, *task*) – основной строительный элемент операционной системы реального времени .
27. Состояния задачи – исполняемая, готовая к исполнению и блокированная задача. Последовательность перехода задания из одного состояния в другое и причинно-следственная связь между состояниями задачи.
28. Планирование заданий. Основные подходы и факторы, учитываемые при планировании заданий.
29. Контекст задания и его роль при переключении заданий.
30. Разделение данных между заданиями. Семафоры и разделяемые данные.
31. Очереди сообщений, почта и нити (каналы). Очереди сообщений, почта и нити (каналы) как средства связи и обмена данными между задачами и их основные характеристики. Использование указателей при работе с очередями.
32. Функции таймера Отслеживание текущего времени, установка и измерение временных интервалов, таймаутов, задержек. Примеры использования таймеров.
33. События, флаги событий. Флаги событий как средство оповещения заданий о происходящих в системе процессах. Флаги в роли передаваемых заданиям сигналов.
34. Управление памятью. Функции ОСРВ для создания и освобождения буферов в памяти.
35. Пулы буферов и функции для работы с ними. Примеры использования буферов фиксированного размера при межзадачном взаимодействии и при взаимодействии задач с процедурами обработки прерываний.
36. Процедуры обработки прерываний и окружение ОСРВ. Правила построения процедур обработки прерываний в среде ОСРВ. Специфика работы с вложенными прерываниями.

**Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используется:** проверка способности обучаемого пользоваться инструментарием системы автоматического проектирования IDE Embedded Workbench компании IAR Systems и САПР Xilinx ISE 14.

#### **6.4. Типовые контрольные задания**

формулируются как совокупность из двух вопросов из числа перечисленных в п.п. 6.3. Один из вопросов относится к программной, а другой – к аппаратной составляющим систем реального времени.

Пример задания:

- Система прерываний и механизм энергосбережения в микроконтроллерах.
- Планирование заданий. Основные подходы и факторы, учитываемые при планировании заданий.

В данном примере первый вопрос касается одного из режимов обмена данными с устройствами ввода/вывода (режима прерываний) и роли механизма прерываний в системах реального времени, относится к **Разделу 1** содержания дисциплины (п. 3) «Общие сведения о системах реального времени и их программном и аппаратном обеспечении» и к **Разделу 4** «Микропроцессоры компании ARM Limited». Второй – к **Разделу 2** «Операционные системы реального времени (ОСРВ) для однокристальных микроконтроллеров».

## **6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.**

Процедура оценивания знаний реализуется в виде ответа на сформулированные в билетах вопросы, построенные в форме контрольных заданий и сформулированные в соответствии с п.п. 6.4. На предшествующей итоговому зачету стадии обучающийся должен сдать все лабораторные работы и быть способным ответить на содержащиеся в методических указаниях контрольные вопросы. по каждой из лабораторных работ.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **а) Основная литература**

1. Шкелев Е.И. Аппаратные средства вычислительной техники: Учебное пособие. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского государственного университета, 2011. – 222 с.
2. Шкелев Е.И. Электронные цифровые системы и микропроцессоры: Учебное пособие. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского государственного университета, 2004. – 153 с.
3. Знакомство с микроконтроллером серии MSP430 / Составители: Шкелёв Е.И., Калинин В.А., Пархачёв В.В. – Практикум. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2015. – 28с.
4. Первые шаги в программировании микроконтроллера серии MSP430 / Составители: Шкелёв Е.И., Иванов А.В., Калинин В.А., Пархачёв В.В. – Практикум. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2015. – 16с.
5. Работа с ЦАП и АЦП микроконтроллера серии MSP430 / Составители: Шкелёв Е.И., Пархачёв В.В., Ивлёв Д.Н., Семенов В.Ю. – Практикум. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2015. – 25с.
6. Синтез и реализация цифрового ЦНП-фильтра на ПЛИС: Методические указания к лабораторной работе / Сост. Е.И. Шкелёв, В.Н. Бугров, В.В. Артемьев.- Н.Новгород: кафедра радиотехники ННГУ (электронный вариант), 2015 - 36 с. (на кафедре радиотехники).
7. Электронная версия руководства пользователя (оригинал) ug331.pdf (на кафедре радиотехники).
8. Электронная версия технических условий (оригинал) ds557.pdf (на кафедре радиотехники).
9. Электронная версия руководства пользователя (оригинал) ug334.pdf (на кафедре радиотехники).
10. Калабеков Б.А. Цифровые устройства и микропроцессорные системы.-М.: Радио и связь 1997.
11. Поляков А.К. Языки VHDL и VERILOG в проектировании цифровой аппаратуры. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003.
12. Айфичер Э. Барри Дж.. Цифровая обработка сигналов: практический подход. 2-е изд. пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004, 699-711с.



13. Транспьютеры. Архитектура и программное обеспечение: Пер. с англ./ Под. ред. Г.Харпа. - М.: Радио и связь, 1993.
14. Кун С. Матричные процессоры на СБИС: Пер. с англ. - М.: Мир, 1991.
15. Ульман Дж. Вычислительные аспекты СБИС: Пер с англ. / Под ред. П.П.Пархоменко. - М.: Радио и связь, 1990.
16. Сверхбольшие интегральные схемы и современная обработка сигналов: Пер. с англ. / Под ред. С. Гуна, Х. Уайтхауса, Т. Кайлата. / – М.: Радио и связь, 1989.

#### **б) Дополнительная литература**

1. Корнеев В.В., Киселев А.В. Современные микропроцессоры. Изд.3. перераб. и доп. – СПб: БХВ-Петербург, 2003. – 448 с.
2. Марк Минаси. Модернизация и обслуживание ПК – Киев “Век+”, Москва “Энтроп”, 1999 г.
3. Куприянов М.С., Мартынов О.Е., Панфилов Д.И. Коммуникационные контроллеры фирмы Motorola. – СПб.: БХВ-Петербург, 2001ю – 560 с.
4. Евстафьев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Classic фирмы ATMEL – 2-е изд., стер. – М.: Издательский дом «Додека-XXI», 2004. – 288 с. (Серия «Мировая электроника»)
5. Применение микропроцессорных средств в системах передачи информации: Учеб. пособие для вузов/ В.Я. Светов, О.И. Кутузов, Ю.А. Головин, Ю.В. Светов. - М.: Высш. шк., 1987.
6. Фрэнк Дж. Солтис. Основы AS/400. Пер. с англ. - М.: Издательский отдел «Русская Редакция» ТОО «Channel Trading Ltd.». - 1998.
7. Микропроцессорные системы: Учебное пособие для вузов / Е.К.Александров, Р.И. Грушвицкий, М.С. Куприянов, О.Е. Мартынов, Д.И. Панфилов, Т.В. Рамизевич, Ю.С. Татаринов, Е.П. Угрюмов, И.И. Шагурин; Под общ. ред. Д.В. Пузанкова. – СПб.: Политехника, 2002. – 935 с.
8. Каган Б.М. Электронные вычислительные машины и системы: Учебное пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
9. Рафикузаман М. Микропроцессоры и машинное проектирование микропроцессорных систем: В 2-х кн. Кн. 1. Пер с англ. - М.: Мир, 1988.
10. Лю Ю-Чжен, Гибсон Г. Микропроцессоры семейства 8086/8088. Архитектура, программирование и проектирование микропроцессорных систем: Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1987.
11. Морс П., Алберт Д.Д. Архитектура процессора 80286. Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1990.
12. Электроника СБИС. Проектирование микроструктур: Пер. с англ./Под ред. Н. Айнспрука. - Мир, 1989.

#### **в) Программное обеспечение и Интернет ресурсы**

1. Интегрированная среда разработки (IDE) компании IAR Systems.  
[http://processor.wiki.ti.com/index.php/IAR\\_Embedded\\_Workbench\\_Kickstart\\_for\\_MS\\_P430\\_Release\\_Notes](http://processor.wiki.ti.com/index.php/IAR_Embedded_Workbench_Kickstart_for_MS_P430_Release_Notes).
2. Практикум «Знакомство с микроконтроллером серии MSP-430».  
<http://www.unn.ru/resources.html>, пер №953.15.04 от 30.04.15. Файл «znakomstvo MSP 430.pdf».
3. Практикум «Первые шаги в программировании микроконтроллера серии MSP-430».  
<http://www.unn.ru/resources.html>, пер №953.15.04 от 30.04.15. Файл «First steps MSP 430.pdf».

4. Практикум «Работа с ЦАП и АЦП микроконтроллера серии MSP-430».  
<http://www.unn.ru/resources.html>, рег №953.15.04 от 30.04.15. Файл «DAC ADC MSP 430.pdf».
5. Интегрированная среда разработки Xilinx ISE, Project Navigator Release Version: P.15xf

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для изучения дисциплины используются два лабораторных комплексов. Один – из 8-ми рабочих мест с интегрированной в персональный компьютер средой разработки (IDE) Embedded Workbench компании IAR Systems и подключенной к компьютеру целевой системой на базе микроконтроллера серии MSP430 компании Texas Instruments. Второй – из 4-х рабочих мест с интегрированной средой разработки Xilinx ISE и подключенной к компьютеру целевой системой на базе ПЛИС XC3S700AN.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО/ВО с учетом рекомендаций и ООП ВПО по направлению 020402 «Фундаментальная информатика и информационные технологии».

Автор \_\_\_\_\_ Е.И. Шкелев

Рецензент \_\_\_\_\_ С.Н. Менсов

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Е.С. Фитасов

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «25» мая 2023 года, протокол № 04/23.