

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол № 10 от 02.12.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Прототипирование с использованием программируемых логических
интегральных схем

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки / специальность
02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии

Направленность образовательной программы
Сопряженная разработка программного и аппаратного обеспечения

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.08.01 Прототипирование с использованием программируемых логических интегральных схем относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-4: Способен проектировать программное обеспечение	<p>ПК-4.1: Знает типовые решения, библиотеки программных модулей, шаблоны, классы объектов, используемые при разработке программного обеспечения</p> <p>ПК-4.2: Знает методы и средства проектирования программного обеспечения</p> <p>ПК-4.3: Знает методы и средства проектирования баз данных</p> <p>ПК-4.4: Умеет использовать существующие типовые решения и шаблоны проектирования программного обеспечения</p> <p>ПК-4.5: Умеет применять методы и средства проектирования программного обеспечения, структур данных, баз данных</p>	<p>ПК-4.1: Знать методы разработки и исследования устройств на ПЛИС.</p> <p>ПК-4.2: умеет применять средства проектирования программного обеспечения</p> <p>ПК-4.3: Применяет методы и средства проектирования баз данных для решения профессиональных задач</p> <p>ПК-4.4: Уметь разрабатывать, исследовать и оптимизировать устройства на ПЛИС на основе методов математического моделирования в интегрированной среде разработки.</p> <p>ПК-4.5: Владеть навыками анализа проведенного исследования и результатов разработки устройств на ПЛИС</p>	<p>Тест</p> <p>Отчет по лабораторным работам</p>	<p>Зачёт:</p> <p>Контрольные вопросы</p> <p>Задачи</p>

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	12
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	12
- КСР	1
самостоятельная работа	83
Промежуточная аттестация	0 Зачёт

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	
Введение в ПЛИС и прототипирование	16	2	2	4	12
Архитектура ПЛИС и языки описания аппаратуры: VHDL и Verilog	20	2	2	4	16
Этапы проектирования на ПЛИС	20	2	2	4	16
Отладка и тестирование проектов	17	2	2	4	13
Работа с тактовыми сигналами и временными характеристиками	18	2	2	4	14
Программирование сопроцессоров и ускорителей	16	2	2	4	12
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	108	12	12	25	83

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Введение в ПЛИС и прототипирование

- Что такое ПЛИС?
- Области применения: промышленность, телекоммуникации, авиация.
- Преимущества использования ПЛИС для прототипирования.

2. Архитектура ПЛИС. Языки описания аппаратуры: VHDL и Verilog

- Основные компоненты: LUT, DSP-блоки, блоки памяти, IOB.
- Принципы перенастройки.
- Современные архитектуры Xilinx, Intel Altera.
- Основы языков описания аппаратуры.
- Сравнение VHDL и Verilog.
- Базовые конструкции.

3. Этапы проектирования на ПЛИС

- Синтез, размещение, трассировка.
- Конфигурация и отладка.
- Использование EDA-инструментов (например, Vivado, Quartus).
- Реализация логических функций.
- Работа с триггерами и регистрами.
- Синтез комбинационных и последовательностных схем.

4. Отладка и тестирование проектов

- Инструменты отладки на уровне RTL и после синтеза.
- Подключение внешних анализаторов.
- Методы тестирования.
- Проектирование состояний.
- Кодирование состояний.

5. Работа с тактовыми сигналами и временными характеристиками

- Тактовые домены.
- Временные ограничения.
- Анализ задержек.

6. Программирование сопроцессоров и ускорителей

- Создание вычислительных ускорителей.
- Примеры: алгоритмы шифрования, обработка изображений.
- Интеграция с процессорами.
- Soft-процессоры (например, MicroBlaze).
- Hard-процессоры (ARM в Zynq).
- Особенности программирования.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

1. Горошкин А.В., Дьяченко А.А. "Проектирование цифровых схем на ПЛИС" – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2021.

2. Зотов С.Н. "Цифровые устройства на ПЛИС: от проекта до реализации" – М.: Горячая линия — Телеком, 2020.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

1. Какое из следующих понятий относится к базовым элементам ПЛИС?
+a) LUT
b) ALU
c) FPU
d) Cache
2. Какой из следующих терминов обозначает блочную память?
a) RAM
b) ROM
+c) BRAM
d) SRAM
3. Какой из следующих процессов позволяет определить задержки в схеме?
a) Synthesis
b) Place-and-route
+c) Timing analysis
d) Bitstream generation
4. Какой из следующих языков используется для описания аппаратуры?
a) Python
b) C++
+c) Verilog
d) Java

Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	не менее 80% правильных ответов в тесте
не зачтено	менее 80% правильных ответов в тесте

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

Лабораторная 1. Установка и настройка среды проектирования

Цель лабораторной работы – установить и настроить программную среду для проектирования на ПЛИС (Vivado для Xilinx или Quartus для Intel), а также проверить работоспособность среды.

Время выполнения: 1 час

Перед выполнением работы студенты получают:

- Инструкцию по установке Vivado/Quartus.
- Ссылку на официальный сайт разработчика.
- Системные требования.

Выполнение работы предполагает решение следующих задач:

- Скачивание и установка выбранного ПО.
- Настройка лицензии (студенческой или веб-лицензии).
- Создание простого проекта (New Project).
- Проверка запуска интерфейса и доступности инструментов.
- Оформление отчета с подтверждением успешной установки.

Лабораторная 2. Разработка простой схемы на ПЛИС

Цель лабораторной работы – реализовать базовую схему мигающего светодиода, освоить процесс синтеза, реализации и загрузки битстрима в ПЛИС.

Время выполнения: 1 час

Перед выполнением работы студенты получают:

- Описание архитектуры ПЛИС-платы (например, Basys 3, DE10-Lite).
- Пример кода на Verilog/VHDL.

Выполнение работы предполагает решение следующих задач:

- Написание кода для делителя частоты и управления светодиодом.
- Синтез проекта.
- Генерация битстрима.
- Загрузка в ПЛИС через USB-JTAG.
- Визуальная проверка мигания.
- Оформление отчета с кодом и описанием процесса.

Лабораторная 3. Реализация счетчика

Цель лабораторной работы – спроектировать и протестировать синхронный счетчик, освоить симуляцию и проверку на реальном устройстве.

Время выполнения: 1 час

Перед выполнением работы студенты получают:

- Требования к счетчику (например, 4-битный, сброс по кнопке).
- Руководство по использованию симулятора (XSim, ModelSim).

Выполнение работы предполагает решение следующих задач:

- Реализация счетчика на Verilog/VHDL.
- Настройка временных диаграмм в симуляторе.

- Проверка работы счетчика в симуляции.
- Загрузка на ПЛИС и проверка с помощью светодиодов.
- Оформление отчета с временными диаграммами и результатами.

Лабораторная 4. Реализация конечного автомата

Цель лабораторной работы – спроектировать и реализовать конечный автомат (FSM) для управления последовательным поведением (например, светофор).

Время выполнения: 1 час

Перед выполнением работы студенты получают:

- Диаграмму состояний (например, "красный → жёлтый → зелёный").
- Таблицу переходов.

Выполнение работы предполагает решение следующих задач:

- Реализация FSM на Verilog/VHDL (Mealy или Moore).
- Симуляция переходов между состояниями.
- Загрузка на ПЛИС и визуальная проверка.
- Оформление отчета с диаграммой и кодом.

Лабораторная 5. Синтез простой арифметической схемы

Цель лабораторной работы – реализовать сумматор или умножитель и проанализировать его производительность и занимаемые ресурсы.

Время выполнения: 1 час

Перед выполнением работы студенты получают:

- Требования к разрядности (например, 8-битный сумматор).
- Методические указания по анализу ресурсов.

Выполнение работы предполагает решение следующих задач:

- Реализация сумматора/умножителя.
- Синтез и анализ использования LUT, регистров, DSP-блоков.
- Сравнение с аппаратными блоками (если доступны).
- Оформление отчета с метриками использования ресурсов.

Лабораторная 6. Работа с тактовыми сигналами

Цель лабораторной работы – научиться управлять тактовыми сигналами: делить частоту, использовать PLL/DCM, измерять задержки.

Время выполнения: 1 час

Перед выполнением работы студенты получают:

- Частоту основного тактового генератора на плате (например, 100 МГц).
- Описание блоков PLL/DCM.

Выполнение работы предполагает решение следующих задач:

- Реализация делителя частоты.
- Настройка PLL для генерации новой частоты.
- Измерение периода выходного сигнала с помощью логического анализатора.
- Оформление отчета с результатами измерений.

Лабораторная 7. Ввод-вывод на ПЛИС

Цель лабораторной работы – подключить кнопки, переключатели и семисегментный индикатор, реализовать обработку ввода и вывода.

Время выполнения: 1 час

Перед выполнением работы студенты получают:

- Схему подключения периферии к ПЛИС.
- Описание IOB (Input/Output Blocks).

Выполнение работы предполагает решение следующих задач:

- Подключение кнопок и переключателей.
- Реализация отображения значения на семисегментном индикаторе.
- Обработка дребезга кнопок.
- Оформление отчета с описанием логики и результатами.

Лабораторная 8. Работа с UART

Цель лабораторной работы – настроить UART-интерфейс для обмена данными между ПЛИС и компьютером.

Время выполнения: 1 час

Перед выполнением работы студенты получают:

- Пример модуля UART на Verilog.
- Инструкцию по использованию терминала (PuTTY, Tera Term).

Выполнение работы предполагает решение следующих задач:

- Реализация передатчика и приёмника UART.
- Отправка данных с ПЛИС на ПК.
- Приём команд с ПК и реакция (например, включение светодиода).
- Оформление отчета с логами обмена.

Лабораторная 9. Использование DSP-блоков

Цель лабораторной работы – реализовать операцию, использующую DSP-блоки (например, умножение с накоплением), и проанализировать эффективность.

Время выполнения: 1 час

Перед выполнением работы студенты получают:

- Описание DSP-блоков в архитектуре ПЛИС.
- Задание: реализовать FIR-фильтр или умножитель.

Выполнение работы предполагает решение следующих задач:

- Создание арифметической операции с использованием DSP.
- Сравнение с реализацией на LUT.
- Анализ использования ресурсов и производительности.
- Оформление отчета с выводами.

Лабораторная 10. Встроенная память

Цель лабораторной работы – использовать блочную память (BRAM) для реализации FIFO или кэша.

Время выполнения: 1 час

Перед выполнением работы студенты получают:

- Описание BRAM и режимов доступа.
- Требования к FIFO (глубина, разрядность).

Выполнение работы предполагает решение следующих задач:

- Реализация FIFO на BRAM.
- Тестирование записи и чтения.
- Проверка на переполнение/опустошение.
- Оформление отчета с диаграммами состояний.

Лабораторная 11. Программируемые процессоры

Цель лабораторной работы – настроить soft-процессор (например, MicroBlaze или Nios II) и загрузить на него простую программу.

Время выполнения: 1 час

Перед выполнением работы студенты получают:

- Инструкцию по использованию IP Integrator (Vivado) или Qsys (Quartus).
- Пример программы на C.

Выполнение работы предполагает решение следующих задач:

- Создание проекта с soft-процессором.
- Подключение памяти и периферии.

- Компиляция и загрузка программы.
- Проверка работы (например, мигание светодиодом).
- Оформление отчета с описанием архитектуры.

Лабораторная 12. Отладка проекта

Цель лабораторной работы – освоить встроенные средства отладки (например, ILA — Integrated Logic Analyzer) и диагностировать ошибки в проекте.

Время выполнения: 1 час

Перед выполнением работы студенты получают:

- Проект с намеренной ошибкой.
- Руководство по использованию ILA или Signal Tap.

Выполнение работы предполагает решение следующих задач:

- Добавление точек отладки в проект.
- Захват сигналов в реальном времени.
- Анализ временных диаграмм.
- Поиск и исправление ошибки.
- Оформление отчета с логами и выводами.

Критерии оценивания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Выполнены все или большая часть этапов решения задачи или задача решена с незначительными недочетами. Программа и результаты работы представлены преподавателю в срок.
не зачтено	Выполнены не все лабораторные работы или выполнены не в полном объеме (представлено не полное описание этапов выполнения заданий, программа работает некорректно, результаты работы не представлены преподавателю).

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компет	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
		не зачтено		зачтено			

знаний)							
Знания	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	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 несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
Умения	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
Навыки	Отсутствие базовых навыков. 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	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы

		одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-4

1. Что такое ПЛИС и чем она отличается от микроконтроллеров?
2. Какие основные элементы используются в ПЛИС?
3. Чем отличаются LUT от обычных логических вентилях?
4. Как работают DSP-блоки в ПЛИС?
5. Что такое блоки памяти BRAM и как они применяются?
6. Какие типы IOB существуют и как они используются?
7. Что такое временные ограничения и зачем они нужны?
8. Как происходит синтез проекта в ПЛИС?
9. Что такое place-and-route?
10. Как работает синхронизация в цифровых схемах?
11. Какие преимущества даёт использование ПЛИС в качестве ускорителей?
12. Как реализуется параллелизм в ПЛИС?
13. Что такое конечный автомат и как его реализовать на ПЛИС?
14. Какие особенности имеет язык Verilog по сравнению с VHDL?
15. Что такое RTL и что он означает?
16. Какие задачи можно решать с помощью soft-процессоров?
17. Как используется ARM Cortex в Zynq?
18. Что такое AXI-шина и где она применяется?
19. Как осуществляется связь между FPGA и внешними устройствами?
20. Какие проблемы возникают при работе с тактовыми сигналами?
21. Как выполняется отладка проектов на ПЛИС?
22. Какие метрики используются для оценки качества проекта?
23. Какие вызовы связаны с энергоэффективностью ПЛИС?
24. Какие стандарты используются в проектировании на ПЛИС?

25. Какие перспективы развития ПЛИС в ближайшем будущем?
26. Какие преимущества даёт использование ПЛИС в системах реального времени?
27. Как обеспечивается совместимость проектов между разными семействами ПЛИС?
28. Какие особенности имеют гетерогенные ПЛИС?
29. Какие вызовы связаны с масштабированием проектов на ПЛИС?
30. Какие методы оптимизации проектов на ПЛИС вы знаете?

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент даёт полный ответ на все теоретические вопросы, возможно с незначительными неточностями в определении понятий, процессов и т.п. Студент работал на практических занятиях и выполнил все тестовые задания как минимум на 80%.
не зачтено	Студент даёт ошибочные ответы, как на теоретические вопросы, так и на наводящие вопросы экзаменатора. Студент пропустил большую часть практических занятий и не выполнил тестовые проверочные задания.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-4

1. Напишите Verilog/VHDL-описание схемы мультиплексора 4:1.
2. Реализуйте счетчик на 8 бит с выводом на светодиоды.
3. Создайте конечный автомат для управления светофором.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Выполнены все или большая часть этапов решения задачи или задача решена с незначительными недочетами. Результаты работы представлены преподавателю в срок
не зачтено	Выполнены не все практические задания или выполнены не в полном объеме (представлено не полное описание этапов выполнения заданий, получен неверный ответ, результаты работы не представлены преподавателю).

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Баланов А. Н. Прототипирование и разработка пользовательского интерфейса: оптимизация

UX : учебное пособие для вузов / Баланов А. Н. - Санкт-Петербург : Лань, 2024. - 220 с. - Книга из коллекции Лань - Информатика. - ISBN 978-5-507-49211-4., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=898835&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Девятков В.В. Прототипирование верификации поведения интеллектуальных агентов в языке логического программирования ПРОЛОГ : учебное пособие / Девятков В.В.; Лычков И.И.; Наунг М.Т. - Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. - 54 с. - ISBN 978-5-7038-5590-4., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=868900&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. Операционные системы семейства Microsoft Windows, лицензия по подписке Microsoft Imagine.
2. Браузер Google Chrome, предоставляется бесплатно на условиях лицензионных соглашений на программное обеспечение с открытым исходным кодом.
3. Среда разработки семейства Microsoft Visual Studio, лицензия по подписке Microsoft Imagine.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии.

Автор(ы): Золотых Николай Юрьевич, доктор физико-математических наук, доцент.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 02.12.2024, протокол № 5.