

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»
(РУТ (МИИТ))



Рабочая программа дисциплины (модуля),
как компонент образовательной программы
базового высшего образования
по направлению подготовки
02.03.02 Фундаментальная информатика и
информационные технологии,
утвержденной первым проректором ФГАОУ ВО
РУТ (МИИТ) Тимониным В.С.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Архитектуры квантовых компьютеров

Направление подготовки: 02.03.02 Фундаментальная информатика и
информационные технологии

Направленность (профиль): Квантовые вычислительные системы и сети

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины (модуля) в виде
электронного документа выгружена из единой
корпоративной информационной системы управления
университетом и соответствует оригиналу

Простая электронная подпись, выданная ФГАОУ ВО РУТ
(МИИТ)

ID подписи: 4196

Подписал: заведующий кафедрой Желенков Борис
Владимирович

Дата: 25.09.2026

1. Общие сведения о дисциплине (модуле).

Целями освоения дисциплины «Архитектуры квантовых компьютеров» является изучение основ организации и функционирования современных ЭВМ и квантовых схем для задач безопасной передачи информации по квантовым каналам и разработки алгоритмов для квантовых компьютеров.

Основными задачами дисциплины являются:

Изучение основных физических принципов функционирования устройств квантовой информатики – квантовых компьютеров и устройств квантовой коммуникации. Приобретение навыков анализа и использования квантовых схем для проведения демонстрационных квантовых вычислений булевых функций, разработки простейших квантовых алгоритмов и протоколов квантовой коммуникации.

Дисциплина формирует компетенции выпускника в области вычислительных машин и систем в соответствии с типами задач профессиональной деятельности: научно-исследовательский, производственно-технологической.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю).

Перечень формируемых результатов освоения образовательной программы (компетенций) в результате обучения по дисциплине (модулю):

ОПК-5 - Способен участвовать в разработке технической документации программных продуктов и комплексов с использованием стандартов, норм и правил, а также в управлении проектами создания информационных систем на стадиях жизненного цикла;

ПК-1 - Способность свободно владеть профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых вычислений;

ПК-6 - Способность проводить технологическое обеспечение технической эксплуатации оборудования компьютерной сети и участка сети квантовых коммуникаций.

Обучение по дисциплине (модулю) предполагает, что по его результатам обучающийся будет:

Знать:

- Особенности архитектур квантовых компьютеров, необходимые для корректного описания аппаратно-программных интерфейсов и ограничений квантовых сопроцессоров.

- физические принципы реализации различных типов и их базовые характеристики;
- иерархию уровней абстракции квантового компьютера (физический уровень, уровень квантовых вентилях, микроархитектурный уровень, уровень компиляции и исполнения);
- Принципы работы основных типов квантовых архитектур, используемых в качестве конечных узлов и квантовых повторителей в сетях связи.

Уметь:

- Описывать архитектуру гибридных систем, включая схемы взаимодействия классического контроллера, систем управления и квантового процессора, а также протоколы передачи квантовых состояний и результатов измерений;
- анализировать физические ограничения конкретной аппаратной платформы и оценивать их влияние на производительность квантовых алгоритмов;
- проводить сравнительный анализ различных архитектур квантовых компьютеров на основе метрик качества (связность кубитов, глубина схем, уровень шума, масштабируемость);
- Уметь оценивать архитектурные ограничения квантовых процессоров на концах линии связи для выбора оптимального протокола квантовой коммуникации и параметров канала.

Владеть:

- Методиками адаптации классических стандартов документирования под специфику квантового ПО (например, описанием компиляции квантовых схем, маппинга логических кубитов на физические топологии);
- методиками анализа и синтеза физической информации в квантовых системах, позволяющими переходить от физических параметров оборудования к логическим архитектурам и обратно;
- Навыками использования специализированного ПО для моделирования квантовых сетей с учетом архитектурных моделей конкретных квантовых компьютеров для оптимизации работы участка сети

3. Объем дисциплины (модуля).

3.1. Общая трудоемкость дисциплины (модуля).

Общая трудоемкость дисциплины (модуля) составляет 4 з.е. (144 академических часа(ов)).

3.2. Объем дисциплины (модуля) в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении учебных занятий:

Тип учебных занятий	Количество часов	
	Всего	Семестр №6
Контактная работа при проведении учебных занятий (всего):	80	80
В том числе:		
Занятия лекционного типа	48	48
Занятия семинарского типа	32	32

3.3. Объем дисциплины (модуля) в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации составляет 64 академических часа (ов).

3.4. При обучении по индивидуальному учебному плану, в том числе при ускоренном обучении, объем дисциплины (модуля) может быть реализован полностью в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации.

4. Содержание дисциплины (модуля).

4.1. Занятия лекционного типа.

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
1	Принципы организации ВМ Рассматриваемые вопросы: -Базовые понятия; -Обзор элементной базы вычислительной техники, современная элементная база; -Модели вычислительных машин.
2	Принципы организации и функционирования ЭВМ классической архитектуры Рассматриваемые вопросы: - Принцип программного управления и его реализация; - Принцип хранимой в памяти программы и его реализация.
3	Структурная организация ЭВМ Рассматриваемые вопросы:

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	-Основные устройства ЭВМ и их характеристики; -ЭВМ с единым интерфейсом; -ЭВМ с множеством интерфейсов.
4	Принципы организации и функционирования аппаратных, программных и программно-аппаратных средств вычислительных машин и систем Рассматриваемые вопросы: -Уровни представления ЭВМ, понятие архитектуры ЭВМ; -Организация программных средств (software); -Аппаратные средства интерпретации программ (hardware, firmware)
5	Эволюция развития средств ВТ Рассматриваемые вопросы: -Поколения средств ВТ; -Механические и электромеханические ВМ, проект аналитической машины Ч. Бэббидж; -Классы и поколения ЭВМ.
6	Принципы организации и функционирования процессора Рассматриваемые вопросы: -Способы исполнения команд в процессоре; -Машинный цикл процессора.
7	Организации прерываний Рассматриваемые вопросы: -Основные этапы прерывания; -Организация и характеристики систем прерываний; -Аппаратно-программные средства систем прерываний и способы их применения.
8	Кодирование команд Рассматриваемые вопросы: -Форматы и кодирование команд; -Команды VLIW и EPIC архитектур; -Предикаты, префиксы и другие способы настройки команд.
9	Адресные пространства процессора Рассматриваемые вопросы: - Адресация регистровой памяти - Метод регистровых окон - Динамическое переименование регистров.
10	Адресные пространства процессора Рассматриваемые вопросы: -Адресация оперативной памяти; -Принципы размещения информации в ОП; -Способы адресации ОП; -Адресация периферийных устройств
11	Система команд и машинный язык процессора Рассматриваемые вопросы: -Состав системы команд процессора; -Проблема семантического разрыва; -Варианты CISC и RISC процессоров.
12	Примеры организации процессоров Рассматриваемые вопросы: -Системы команд и регистровые модели процессоров разных моделей.

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
13	Принципы многоуровневой организации и функционирования памяти ЭВМ Рассматриваемые вопросы: -Основные уровни памяти и их характеристики; -Классификация запоминающих устройств.
14	Организация ЗУ с разными способами размещения и поиска информации Рассматриваемые вопросы: -ЗУ адресного и безадресного типа; -ЗУ ассоциативного типа.
15	Принципы организации и функционирования оперативной памяти ЭВМ Рассматриваемые вопросы: -Многоблочное и многоабонентное исполнение памяти; -Организация параллельных обращений в память; -Способы распределения адресного пространства.
16	Принципы организации и функционирования КЭШ памяти Рассматриваемые вопросы: -Классификация способов повышения быстродействия основной памяти; -Принципы организации и функционирования КЭШ памяти; -Классификация КЭШ памяти по способу записи информации.
17	Структурная организация КЭШ – памяти Рассматриваемые вопросы: -КЭШ – память с полностью ассоциативным распределением, прямым отображением и частично ассоциативным распределением ; -Организация многоуровневой КЭШ – памяти; -Поддержка когерентности КЭШ – памяти, инклюзивная организация КЭШ.
18	Виртуализация памяти Рассматриваемые вопросы: -Анализ требований к объему основной памяти современной ЭВМ -Способы расширения адресного пространства основной памяти -Принцип виртуализации памяти.
19	Динамическое преобразование адреса Рассматриваемые вопросы: -Страничная и сегментно-страничная организация памяти; -Способы преобразования виртуальных адресов в физические; -Защита памяти.
20	Квантовая физика классического компьютера Рассматриваемые вопросы: -Дифракция электронов. Статистический смысл волновой функции. -Принцип суперпозиции. -Принцип суперпозиции. Соотношение неопределенностей.
21	Корпускулярно-волновой дуализм Рассматриваемые вопросы: -Операторы физических величин. Уравнение Шредингера. -Движение частицы в прямоугольной потенциальной яме. Туннелирование через барьер. Ток вероятности. -Уравнение Шредингера для атома водорода и его решение. -Приближение двухуровневого атома.

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
22	Матричная квантовая механика. Квантовые вычисления Рассматриваемые вопросы: -Операторы момента импульса и орбитального магнитного момента. Спин. Матричная формулировка квантовой механики; -Операторы спина. Кубит и его представление на сфере Блоха. Управление кубитом при помощи электромагнитных полей; -Матрица плотности. Декогеренция кубита. Квантовые измерения.
23	Матричная квантовая механика. Квантовые вычисления Рассматриваемые вопросы: -Уравнения эволюции двухуровневой системы.; -Учет взаимодействия кубита с окружающей средой. Матрица плотности декогеренция кубита; -Квантовые измерения; -Квантовые логические операторы и квантовые схемы. -Квантовые логические операторы и квантовые схемы. -Квантовый параллелизм.
24	Классы квантовых алгоритмов. Экспериментальная реализация квантового компьютера Рассматриваемые вопросы: -Квантовые алгоритмы; -Дополнительные приложения квантовой информации. -Лазерная генерация и нестационарные когерентные атомные процессы в системе двухуровневых атомов, взаимодействующих с электромагнитным полем. -Компьютер на квантовых точках. - Аналоговый квантовый компьютер на сверхпроводниках.

4.2. Занятия семинарского типа.

Лабораторные работы

№ п/п	Наименование лабораторных работ / краткое содержание
1	Принципы организации микроконтроллеров. В результате выполнения лабораторной работы студент получает знания принципов организации и функционирования аппаратных, программных и программно-аппаратных средств вычислительных машин и систем
2	Принципы организации микроконтроллеров. В результате выполнения лабораторной работы студент получает знания принципов организации и функционирования аппаратных, программных и программно-аппаратных средств вычислительных машин и систем
3	Интегрированная среда разработки Keil μVision. Изучение программных средств для создания и отладки программ в микроконтроллерах. В результате выполнения лабораторной работы студент отрабатывает умения осуществлять выбор, настройку и обслуживание программных и программно-аппаратных средств вычислительных машин и систем
4	Интегрированная среда разработки Keil μVision. Установка пакета Keil MDK на ПЭВМ лабораторного стенда и его запуск. В результате выполнения лабораторной работы студент получает навыки инсталляции отечественного и иностранного программного обеспечения

№ п/п	Наименование лабораторных работ / краткое содержание
5	Изучение способов исходного задания программ для отладки в интегрированной среде разработки Keil μ Vision. Язык ассемблера для программирования микроконтроллеров с архитектурой ARM. В результате выполнения лабораторной работы студент получает знания принципов организации и функционирования аппаратных, программных и программно-аппаратных средств вычислительных машин и систем.
6	Создание и запуск проекта в среде Keil μ Vision в режиме симулятора. Загрузка и отладка учебной программы. В результате выполнения лабораторной работы студент отрабатывает умения осуществлять выбор, настройку и обслуживание программных и программно-аппаратных средств вычислительных машин и систем
7	Изучение способов выполнения арифметических операций. Форматы арифметических команд. Разработка программы выполнения операций над 32-разрядными беззнаковыми кодами. В результате выполнения лабораторной работы студент получает знания принципов организации и функционирования аппаратных, программных и программно-аппаратных средств вычислительных машин и систем.
8	Изучение способов выполнения арифметических операций. Загрузка и отладка программы выполнения операций над 32-разрядными беззнаковыми кодами. В результате выполнения лабораторной работы студент получает навыки разработки архитектур и прототипов информационных систем.
9	Изучение способов хранения и обработки многобайтных чисел. Разработка программы обработки многобайтных чисел по заданному варианту. В результате выполнения лабораторной работы студент получает знания принципов организации и функционирования аппаратных, программных и программно-аппаратных средств вычислительных машин и систем.
10	Изучение способов хранения и обработки многобайтных чисел. Загрузка и отладка программы обработки многобайтных чисел. В результате выполнения лабораторной работы студент получает навыки разработки архитектур и прототипов информационных систем.
11	Логические операции над битами многоразрядных слов. Разработка и отладка операторных программ вычисления булевых функций. В результате выполнения лабораторной работы студент получает навыки разработки архитектур и прототипов информационных систем.
12	Квантовые эффекты. Квантовые гейты. Квантовые схемы В результате выполнения лабораторной работы студент получает навыки преобразования контролируемое -HE (CNOT), Тоффли и Фредкина. Универсальный набор операций. Физические ограничения вычислительных возможностей
13	Простейшие квантовые алгоритмы. Квантовая криптография В результате выполнения лабораторной работы студент изучит: Алгоритм Дойча. Квантовый параллелизм. Структура полупроводникового зарядового кубита. Проведение основных операций Гамильтониан полупроводникового зарядового кубита. Инициализация. Измерение. Проведение фазового вращения. Проведение амплитудного вращения. Выполнение двухкубитовой операции.
14	Квантовое исправление ошибок В результате выполнения лабораторной работы студент изучит: полиномиальный алгоритм подавления межкубитового взаимодействия. Источники квантовых ошибок. Необходимость борьбы с декогерентностью. Мера декогерентности. Классический шум. Фазовые ошибки. Межкубитовое взаимодействие. Потеря когерентности квантового состояния. Понятие меры декогерентности.

№ п/п	Наименование лабораторных работ / краткое содержание
15	Квантовые и классические классы сложности. Квантовый? конечный? автомат В результате выполнения лабораторной работы студент отрабатывает умения ограничения вычислительных возможностей квантовых компьютеров, вытекающие из квантомеханической природы вычислительных элементов.
16	Квантовая коммуникационная модель вычислений В результате выполнения лабораторной работы студент получает навыки построения квантовых схем. Квантовая схема квантовой телепортации неизвестного состояния кубита с помощью ЭПР пары и классического канала связи.

4.3. Самостоятельная работа обучающихся.

№ п/п	Вид самостоятельной работы
1	Изучение дополнительной литературы
2	Подготовка к лабораторным работам.
3	Подготовка к промежуточной аттестации.
4	Подготовка к текущему контролю.

5. Перечень изданий, которые рекомендуется использовать при освоении дисциплины (модуля).

№ п/п	Библиографическое описание	Место доступа
1	Отладка микропроцессорных систем на однокристальных микро-ЭВМ семейства MCS-51 с использованием внутрисхемного эмулятора: Метод. указ. к лабор. работам по дисциплинам цикла Микропроцессор и микропроцессорные системы / А.Е. Мамченко, М.И. Шамров, В.В. Чеботарев; МИИТ. Каф. электронных вычислительных машин. - М.: , 2001. - 36 с.	https://library.miit.ru/bookscatalog/metod/00-36066.pdf
2	Организация, схемотехника и микропрограммирование процессоров ЭВМ: метод. указ. к курсовому проектированию по дисц. Организация ЭВМ и систем для студ., обуч. по напр. Информатика и вычислительная техника / А.Е. Мамченко, М.И. Шамров; МИИТ. Каф. Вычислительные системы и сети. - М.: МИИТ, 2012. - 66 с.	https://library.miit.ru/bookscatalog/metod/03-41523.pdf

3	Организация устройств на базе процессоров малой разрядности для информационных систем на железнодорожном транспорте: Учеб. пособие для студ. спец. Информатика и выч. техника / М.И. Шамров, Г.Г. Тельнов; МИИТ. Каф. Вычислительные системы и сети. - М.: МИИТ, 2007. - 160 с.	https://library.mii.ru/miitpublishing/04-35145.pdf
4	Маршрутизация в глобальных сетях. Протокол BGP: учеб. пособие по дисц. Сети ЭВМ и телекоммуникации для студ. 4 курса спец. Вычислительные машины, комплексы, системы и сети, напр. Информатика и вычислительная техника / Б.В. Желенков; МИИТ. Каф. Вычислительные системы и сети. - М.: МИИТ, 2011. - 183 с.	https://library.mii.ru/miitpublishing/12-1780.pdf

6. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, которые могут использоваться при освоении дисциплины (модуля).

- Электронно-библиотечная система Научно-технической библиотеки РУТ (МИИТ): <http://library.mii.ru>

- Национальный открытый университет «ИНТУИТ»
<https://intuit.ru/studies/courses/2192/31/info>

- Форум специалистов по информационным технологиям
<http://citforum.ru/>

7. Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства, необходимого для освоения дисциплины (модуля).

- Microsoft Windows
- Microsoft Office
- Интернет-браузер (Yandex и др.)

8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю).

Учебная аудитория для проведения учебных занятий (занятий лекционного типа, лабораторных работ):

- компьютер преподавателя, рабочие станции студентов, мультимедийное оборудование, доска.

Аудитория подключена к сети «Интернет».

9. Форма промежуточной аттестации:

Экзамен в 6 семестре.

10. Оценочные материалы.

Оценочные материалы, применяемые при проведении промежуточной аттестации, разрабатываются в соответствии с локальным нормативным актом РУТ (МИИТ).

Авторы:

доцент, доцент, к.н. кафедры
«Вычислительные системы и
квантовые коммуникации»

М.И. Шамров

Согласовано:

Заведующий кафедрой ВСиКК

Б.В. Желенков

Председатель учебно-методической
комиссии

Н.А. Андриянова