**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**
**(РУТ (МИИТ)**

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

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

## Квантовые алгоритмы и вычисления

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 РУТ (МИИТ)
ID подписи: 4196
Подписал: заведующий кафедрой Желенков Борис Владимирович
Дата: 08.12.2025

1. Общие сведения о дисциплине (модуле).

Целью дисциплины «Квантовые алгоритмы и вычисления» является изучение применяемых в программировании (и информатике) структура данных, их спецификации и реализации, алгоритмов обработки данных и анализ этих алгоритмов, взаимосвязь алгоритмов и структур.

В результате изучения дисциплины «Квантовые алгоритмы и вычисления» студент должен:

- иметь представление об основных тенденциях в создании структур данных;

- методах оптимального использования памяти и времени для обработки структур данных и управления процессами обработки данных;

- знать и использовать различные (динамические и статистические ) структуры данных в соответствии с запросами алгоритмов;

- создавать списковые и древообразные структуры и управлять организацией этих структур (изменение списков и деревьев посредством включения исключения, замены элементов структур);

- знать, использовать оптимальные методы поиска и сортировки данных; иметь опыт работы с алгоритмическими языками программирования, в том числе с объектами;

- иметь опыт представление о некоторых математических методах анализа алгоритмов;

- классификации алгоритмических задач по сложности, сводимости алгоритмических задач к известным задачам определенного класса сложности.

Дисциплина предназначена для получения знаний, необходимых для решения следующих задач:

- определение целей проектирования, критериев эффективности, ограничений;

- системный анализ объекта проектирования, предметной области, их взаимосвязей.

- организационно-правовое обеспечение деятельности по получению, накоплению, обработке, анализу, использованию информации и защите объектов информатизации, информационных технологий и ресурсов;

- разработка обобщенных вариантов решения проблемы, анализ этих вариантов, прогнозирование последствий, нахождение компромиссных решений в условиях многокритериальности и неопределенности.

- организация работы малых групп и коллективов исполнителей, сформированных для решения конкретных профессиональных задач.

- сбор и анализ исходных данных для проектирования структур и алгоритмов.

- формирование требований к информатизации и автоматизации прикладных процессов, формализация предметной области проекта.

- установка, настройка, эксплуатация и поддержание в работоспособном состоянии компонентов системы с учетом установленных требований;

- участие в техническом и рабочем проектировании компонентов информационных систем в соответствии со спецификой профиля подготовки.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю).

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

**ОПК-1** - Способен применять фундаментальные знания, полученные в области математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности;

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

**ПК-2** - Способность к поиску, критическому анализу, обобщению и систематизации научной информации в области физики квантовых вычислений.

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

**Знать:**

- информацию в области физики квантовых вычислений;

- основные структуры данных: линейные, иерархические, сетевые, реляционные и методы их обработки;

- базовые типы сортировки, алгоритмы сжатия и кодирования информации;

- приемы размещения структур данных в пространстве оперативной памяти.

**Уметь:**

- применять фундаментальные знания, полученные в области математически и физики для реализации квантовых вычислений;

- выбирать типы и структуры данных в соответствии с требованиями конкретной задачи;

- строить программные модели всех базовых структур данных, включая линейные списки при последовательном и связном распределении памяти, бинарные деревья и сетевые структуры;

- экономно использовать ресурсы оперативной памяти.

**Владеть:**

- навыками анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых вычислений;

- навыками поиска, обобщения и систематизации научной информации в области физики квантовых вычислений;

- навыками применения быстрого поиска, в том числе поиска по линейным структурам методом половинного деления и поиска по иерархическим структурам с использованием АВЛ-деревьев и красно-черных деревьев,

- навыками программирования динамических массивов.

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 №7 |
| Контактная работа при проведении учебных занятий (всего): | 64 | 64 |
| В том числе: | | |
| Занятия лекционного типа | 32 | 32 |
| 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 80 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 | Основные понятия и определения<br>Рассматриваемые вопросы:<br>- Математические основы квантовых вычислений (тензоры, унитарные и эрмитовы преобразования, матричные функции).<br>- Квантовые схемы.<br>- Формализм гейтовой модели квантовых вычислений. |
| 2 | Необходимые сведения из классической теории алгоритмов<br>Рассматриваемые вопросы:<br>- Понятие алгоритма, машина Тьюринга, универсальная машина Тьюринга.<br>- Вычислимые и невычислимые функции, проблема остановки.<br>- Задачи разрешимости, представление о классах вычислительной сложности.<br>- Классы P и NP.<br>- Вероятностная машина Тьюринга, класс BPP.<br>- Задачи пересчёта количества решений, класс сложности #P.<br>- Гейтовая модель классических вычислениий. |
| 3 | Постулаты квантовой механики<br>Рассматриваемые вопросы:<br>- Основные понятия, обозначения, постулаты, неравенства Белла, оператор плотности. |
| 4 | Модель квантовой схемы<br>Рассматриваемые вопросы:<br>- Логические элементы (гейты).<br>- Однокубитовые и двухкубитовые гейты.<br>- Примеры квантовых алгоритмов.<br>- Реализация квантовых схем с использованием модуля Qisk |
| 5 | Гейтовая модель квантовых вычислений<br>Рассматриваемые вопросы:<br>- Элементарные квантовые логические вентили, однокубитные и двухкубитные вентили.<br>- Условные двухкубитные вентили, представление условных многокубитных вентилей через двухкубитные.<br>- Универсальность однокубитных вентилей и вентиля CNOT.<br>- Дискретизация однокубитных вентилей, универсальные дискретные наборы вентилей.<br>- Сложность аппроксимации произвольного унитарного преобразования. |
| 6 | Алгоритмы, основанные на квантовом преобразовании Фурье<br>Рассматриваемые вопросы:<br>- Квантовое преобразование Фурье.<br>- Алгоритм оценки фазы, оценка необходимых ресурсов, упрощённый алгоритм Китаева.<br>- Алгоритм поиска периода функции, алгоритм Шора.<br>- Квантовые алгоритмы для задач линейной алгебры. |

| № п/п | Тематика лекционных занятий / краткое содержание |
|---|---|
| 7 | Алгоритм Гровера<br>Рассматриваемые вопросы:<br>- Переборные задачи.<br>- Классические и квантовые вычисления с оракулом.<br>- Алгоритм Гровера. |
| 8 | Алгоритм Шора<br>Рассматриваемые вопросы:<br>- Задача факторизации.<br>- Алгоритм поиска фазы.<br>- Квантовая реализация умножения целых чисел.<br>- Алгоритм факторизации. |
| 9 | Симуляция квантовых алгоритмов<br>Рассматриваемые вопросы:<br>- Формулировка задачи симуляции.<br>- Различные представления квантовых преобразований.<br>- Оценка сложности классического решения.<br>- Методы учета шумов.<br>- Методы оптимизации классических алгоритмов симуляции. |
| 10 | Введение в теорию сложности квантовых алгоритмов<br>Рассматриваемые вопросы:<br>- Класс сложности BQP.<br>- Класс сложности BPP.<br>- Взаимоотношения с другими классами сложности. |
| 11 | Квантовые блуждания<br>Рассматриваемые вопросы:<br>- Классические блуждания.<br>- Переход к квантовому аналогу и проблема обратимости.<br>- Метод coin-flip.<br>- Решение переборных задач в модели квантовых блужданий. |
| 12 | Квантовые алгоритмы линейной алгебры<br>Рассматриваемые вопросы:<br>- Квантовый алгоритм решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ).<br>- Увеличение скорости алгоритма.<br>- Увеличение точности алгоритма.<br>- Квантовый алгоритм вычисления ранга матрицы. |
| 13 | Задачи на графах<br>Рассматриваемые вопросы:<br>- Модели задач на графах: матрица связей и список вершин.<br>- Подходы к решению задач на графах на квантовых компьютерах.<br>- Примеры алгоритмов. |
| 14 | Альтернативные модели квантовых вычислений<br>Рассматриваемые вопросы:<br>- Адиабатические вычисления: формализм, адиабатическая теорема, решаемые задачи, сложности платформы. |
| 15 | Альтернативные модели квантовых вычислений<br>Рассматриваемые вопросы:<br>- Модель DQC-1: модель вычислений, задача вычисления среднего значения оператора. |
| 16 | Введение в квантовую коррекцию ошибок<br>Рассматриваемые вопросы:<br>- Квантовые коды Кальдербанка-Шора-Стина. |

| № п/п | Тематика лекционных занятий / краткое содержание |
|---|---|
| | - Формализм стабилизаторов, построение кодов КШС в формализме стабилизаторов.<br>- Унитарные преобразования и измерения в формализме стабилизаторов.<br>- Понятие о вычислениях, устойчивых к ошибкам.<br>- Построение универсального набора устойчивых к ошибкам вентилей.<br>- Измерения, устойчивые к ошибкам.<br>- Пороговая теорема. |

## 4.2. Занятия семинарского типа.

### Практические занятия

| № п/п | Тематика практических занятий/краткое содержание |
|---|---|
| 1 | Элементарные квантовые алгоритмы<br>В результате выполнения практического задания студент получит практические навыки в изучение основных однокубитовых квантовых логических алгоритмов. |
| 2 | Машина Тьюринга<br>В результате выполнения практического задания студент получит практические навыки в записи алгоритмов с использованием машин Тьюринга. |
| 3 | Композиция машин Тьюринга<br>В результате выполнения практического задания студент получит практические навыки в записи алгоритмов с использованием композиции машин Тьюринга. |
| 4 | Основные понятия квантовых вычислений<br>В результате выполнения практического задания студент получит практические навыки при работе тензорного произведения векторов и тензорного определения матриц, научится описывать сферу Блоха |
| 5 | Основные постулаты квантовой механики<br>В результате выполнения практического задания студент получит практические навыки в постулатах квантовой механики, узнает как осуществляется измерение квантовой системы. |
| 6 | Определение запутанных квантовых состояний, примеры. EPR-парадокс<br>В результате выполнения практического задания студент научится определять разложимое состояние двухкубитной системы, описывать использование эффекта entaglement в квантовых вычислениях. |
| 7 | Разработка программ для алгоритмов Маркова<br>В результате выполнения практического задания студент изучит программу имитатор алгоритмов Маркова. Выработать навык составления алгоритмов Маркова. |
| 8 | Квантовая криптография<br>В результате выполнения практического задания студент получит практические навыки в описание классического подхода (квантовая криптография с открытым ключом), в описании квантового распределения ключей (КРК). |
| 9 | Квантовые гейты<br>В результате выполнения практического задания студент проведет сравнение квантовых гейтов с классическими гейтами, опишет эффект квантового параллелизма. |
| 10 | Плотное квантовое кодирование<br>В результате выполнения практического задания студент узнает алгоритмы, использующие запутанные состояния, научиться примененять элемента CNOT к двум телепортированным состояниям. |
| 11 | Алгоритм Саймона<br>В результате выполнения практического задания студент сформулирует задачу Саймона, опишет |

| № п/п | Тематика практических занятий/краткое содержание |
|---|---|
| | алгоритм Саймона и его схемную реализацию, рассчитает время вычисления периода функции при классическом подходе и при использовании алгоритма Саймона. |
| 12 | Алгоритм Гровера<br>В результате выполнения практического задания студент общую формулировку задачи, решаемой алгоритмом Гровера, выполнит анализ алгоритма. Таблица для построения оракула для алгоритма Гровера. Итерация Гровера. Инверсия относительно среднего. |
| 13 | Квантовое преобразование Фурье<br>В результате выполнения практического задания студент определит квантовое преобразование Фурье, сравнит квантовое и классическое преобразования Фурье, опишет трехкубитовое преобразование Фурье. |
| 14 | Задача факторизации числа<br>В результате выполнения практического задания студент определит квантовое преобразование Фурье, сравнить квантовое и классическое преобразования Фурье, определит сложность квантового преобразования Фурье, проведет эффективную схему, вычисляющую квантовое преобразование Фурье. |
| 15 | Устойчивость квантовых вычислений<br>В результате выполнения практического задания студент освоит понятие устойчивости квантовых вычислений, опишет реализацию устойчивого элемента CNOT с последующим исправлением ошибок. |
| 16 | Квантовая коммуникационная модель вычислений<br>В результате выполнения практического задания студент освоит понятие устойчивости квантовых вычислений, применит каскадные коды, пороговую теорему, приведет примеры устойчивых к ошибкам квантовых логических элементов. |

4.3. Самостоятельная работа обучающихся.

| № п/п | Вид самостоятельной работы |
|---|---|
| 1 | Работа с лекционным материалом |
| 2 | Подготовка к практическим занятиям |
| 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 | Филиппов, Ф. В. Квантовые вычисления : учебное пособие / Ф. В. Филиппов. — Санкт-Петербург : СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2024. — 83 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. | https://e.lanbook.com/book/426110 |

| | | |
|---|---|---|
| 2 | Прилипко, В. К. Физические основы квантовых вычислений. Динамика кубита : монография / В. К. Прилипко, И. И. Коваленко. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 216 с. — ISBN 978-5-507-50139-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. | https://e.lanbook.com/book/412214 |
| 3 | Голдовский Яков Михайлович Базы данных : метод. указ. к лаб. раб. для студ. спец. "Выч. машины, комплексы, системы и сети" / Я.М. Голдовский ; МИИТ. Каф. "Вычислительные системы и сети". | https://library.miit.ru/bookscatalog/metod/04-35430.pdf |
| 4 | Структуры и алгоритмы обработки данных: метод. указ. к лаб. раб. для студ. спец. Программное обеспечение / Г.А. Шейкина; МИИТ. Каф. Математическое обеспечение автоматизированных систем управления. - М.: МИИТ, 2008. - 34 с. | https://library.miit.ru/bookscatalog/metod/04-35586.pdf |
| 5 | Голдовский Яков Михайлович. Структуры и алгоритмы обработки данных : Метод. указ. к лаб. раб. по дисц. "Структуры и алгоритмы обработки данных" для студ., обуч. по напр. "Информатика и вычислительная техника" / Я. М. Голдовский ; МИИТ. Каф. "Вычислительные системы и сети". - М. : МИИТ, 2012. - 36 с. | https://library.miit.ru/bookscatalog/metod/03-42034.pdf |
| 6 | Списки в моделях реляционных баз данных: метод. указ. к курсовому проекту по дисц. Структуры и алгоритмы обработки данных для студ., обуч. по напр. Информатика и выч. техника, профиль Программное обеспечение выч. техники и автоматизированных систем , по напр. Программная инженерия / Г.А. Шейкина; МИИТ. Каф. Математическое обеспечение автоматизированных систем управления. - М.: МИИТ, 2011. - 26 с. | https://library.miit.ru/bookscatalog/metod/03-41538.pdf |
| 7 | Методы обработки структур в среде DELPHI: метод. указ. к лаб. раб. для студ. информационных спец. ИУИТа / В.П. Соловьев, Н.Н. Пуцко; МИИТ. Каф. Математическое обеспечение | https://library.miit.ru/bookscatalog/metod/04-35737.pdf |

| | | |
|---|---|---|
| | автоматизированных систем управления. - М.: МИИТ, 2008. - 36 с. | |

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

Научно-техническая библиотека РУТ(МИИТ) http://library.miit.ru/

Официальный сайт по поддержке решений Cisco https://www.cisco.com/

Форум специалистов по информационным технологиям http://citforum.ru/

Интернет-университет информационных технологий http://www.intuit.ru/

Тематический форум по информационным технологиям http://habrahabr.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, практических занятий):

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

Аудитория подключена к сети «Интернет».

9. Форма промежуточной аттестации:

Экзамен в 7 семестре.

10. Оценочные материалы.

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

Авторы:

доцент, к.н. кафедры
«Вычислительные системы, сети и
информационная безопасность» Я.М. Голдовский

Согласовано:

Заведующий кафедрой ВССиИБ Б.В. Желенков

Председатель учебно-методической
комиссии Н.А. Андриянова