

**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: 24.10.2024

## 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 математики 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 AVL-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	<b>Основные понятия и определения</b> Рассматриваемые вопросы: - Математические основы квантовых вычислений (тензоры, унитарные и эрмитовы преобразования, матричные функции). - Квантовые схемы. - Формализм гейтовой модели квантовых вычислений.
2	<b>Необходимые сведения из классической теории алгоритмов</b> Рассматриваемые вопросы: - Понятие алгоритма, машина Тьюринга, универсальная машина Тьюринга. - Вычислимые и невычислимые функции, проблема останковки. - Задачи разрешимости, представление о классах вычислительной сложности. - Классы P и NP. - Вероятностная машина Тьюринга, класс BPP. - Задачи пересчёта количества решений, класс сложности #P. - Гейтовая модель классических вычислений.
3	<b>Постулаты квантовой механики</b> Рассматриваемые вопросы: - Основные понятия, обозначения, постулаты, неравенства Белла, оператор плотности.
4	<b>Модель квантовой схемы</b> Рассматриваемые вопросы: - Логические элементы (гейты). - Однокубитовые и двухкубитовые гейты. - Примеры квантовых алгоритмов. - Реализация квантовых схем с использованием модуля Qisk
5	<b>Гейтовая модель квантовых вычислений</b> Рассматриваемые вопросы: - Элементарные квантовые логические вентили, однокубитные и двухкубитные вентили. - Условные двухкубитные вентили, представление условных многокубитных вентилях через двухкубитные. - Универсальность однокубитных вентилях и вентиля CNOT. - Дискретизация однокубитных вентилях, универсальные дискретные наборы вентилях. - Сложность аппроксимации произвольного унитарного преобразования.
6	<b>Алгоритмы, основанные на квантовом преобразовании Фурье</b> Рассматриваемые вопросы: - Квантовое преобразование Фурье. - Алгоритм оценки фазы, оценка необходимых ресурсов, упрощённый алгоритм Китаева. - Алгоритм поиска периода функции, алгоритм Шора. - Квантовые алгоритмы для задач линейной алгебры.

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
7	<p>Алгоритм Гровера</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Переборные задачи.</li> <li>- Классические и квантовые вычисления с оракулом.</li> <li>- Алгоритм Гровера.</li> </ul>
8	<p>Алгоритм Шора</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Задача факторизации.</li> <li>- Алгоритм поиска фазы.</li> <li>- Квантовая реализация умножения целых чисел.</li> <li>- Алгоритм факторизации.</li> </ul>
9	<p>Симуляция квантовых алгоритмов</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Формулировка задачи симуляции.</li> <li>- Различные представления квантовых преобразований.</li> <li>- Оценка сложности классического решения.</li> <li>- Методы учета шумов.</li> <li>- Методы оптимизации классических алгоритмов симуляции.</li> </ul>
10	<p>Введение в теорию сложности квантовых алгоритмов</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Класс сложности BQP.</li> <li>- Класс сложности BPP.</li> <li>- Взаимоотношения с другими классами сложности.</li> </ul>
11	<p>Квантовые блуждания</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Классические блуждания.</li> <li>- Переход к квантовому аналогу и проблема обратимости.</li> <li>- Метод coin-flip.</li> <li>- Решение переборных задач в модели квантовых блужданий.</li> </ul>
12	<p>Квантовые алгоритмы линейной алгебры</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Квантовый алгоритм решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ).</li> <li>- Увеличение скорости алгоритма.</li> <li>- Увеличение точности алгоритма.</li> <li>- Квантовый алгоритм вычисления ранга матрицы.</li> </ul>
13	<p>Задачи на графах</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Модели задач на графах: матрица связей и список вершин.</li> <li>- Подходы к решению задач на графах на квантовых компьютерах.</li> <li>- Примеры алгоритмов.</li> </ul>
14	<p>Альтернативные модели квантовых вычислений</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Адиабатические вычисления: формализм, адиабатическая теорема, решаемые задачи, сложности платформ.</li> </ul>
15	<p>Альтернативные модели квантовых вычислений</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Модель DQC-1: модель вычислений, задача вычисления среднего значения оператора.</li> </ul>
16	<p>Введение в квантовую коррекцию ошибок</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Квантовые коды Кальдербанка-Шора-Стина.</li> </ul>

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Формализм стабилизаторов, построение кодов КШС в формализме стабилизаторов.</li> <li>- Унитарные преобразования и измерения в формализме стабилизаторов.</li> <li>- Понятие о вычислениях, устойчивых к ошибкам.</li> <li>- Построение универсального набора устойчивых к ошибкам вентиляей.</li> <li>- Измерения, устойчивые к ошибкам.</li> <li>- Пороговая теорема.</li> </ul>

## 4.2. Занятия семинарского типа.

### Практические занятия

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

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
	классическом подходе и при использовании алгоритма Саймона.
12	Алгоритм Гровера 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 В результате выполнения практического задания студент определит квантовое преобразование Фурье, сравнит квантовое и классическое преобразования Фурье, опишет трехкубитовое преобразование Фурье.
14	Задача факторизации числа В результате выполнения практического задания студент определит квантовое преобразование Фурье, сравнит квантовое и классическое преобразования Фурье, определит сложность квантового преобразования Фурье, проведет эффективную схему, вычисляющую квантовое преобразование Фурье.
15	Устойчивость квантовых вычислений 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 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.	<a href="https://e.lanbook.com/book/426110">https://e.lanbook.com/book/426110</a>
2	Прилишко, В. К. Физические основы квантовых вычислений. Динамика кубита :	<a href="https://e.lanbook.com/book/412214">https://e.lanbook.com/book/412214</a>



	<p>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.</p>	
3	<p>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".</p>	<p><a href="https://library.miiit.ru/bookscatalog/metod/04-35430.pdf">https://library.miiit.ru/bookscatalog/metod/04-35430.pdf</a></p>
4	<p>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.</p>	<p><a href="https://library.miiit.ru/bookscatalog/metod/04-35586.pdf">https://library.miiit.ru/bookscatalog/metod/04-35586.pdf</a></p>
5	<p>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.</p>	<p><a href="https://library.miiit.ru/bookscatalog/metod/03-42034.pdf">https://library.miiit.ru/bookscatalog/metod/03-42034.pdf</a></p>
6	<p>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.</p>	<p><a href="https://library.miiit.ru/bookscatalog/metod/03-41538.pdf">https://library.miiit.ru/bookscatalog/metod/03-41538.pdf</a></p>
7	<p>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 автоматизированных систем управления. - М.: МИИТ, 2008. - 36 с.</p>	<p><a href="https://library.miiit.ru/bookscatalog/metod/04-35737.pdf">https://library.miiit.ru/bookscatalog/metod/04-35737.pdf</a></p>

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

Научно-техническая библиотека РУТ(МИИТ) <http://library.miiit.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  
Председатель учебно-методической  
комиссии

Б.В. Желенков

Н.А. Андриянова