

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 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: 03.06.2026

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.

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	Основные понятия и определения Рассматриваемые вопросы: - Математические основы квантовых вычислений (тензоры, унитарные и эрмитовы преобразования, матричные функции). - Квантовые схемы. - Формализм гейтовой модели квантовых вычислений.
2	Необходимые сведения из классической теории алгоритмов 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	Постулаты квантовой механики Рассматриваемые вопросы: - Основные понятия, обозначения, постулаты, неравенства Белла, оператор плотности.
4	Модель квантовой схемы Рассматриваемые вопросы: - Логические элементы (гейты). - Однокубитовые и двухкубитовые гейты. - Примеры квантовых алгоритмов. - Реализация квантовых схем с использованием модуля Qiskit
5	Гейтовая модель квантовых вычислений 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	Алгоритмы, основанные на квантовом преобразовании Фурье 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.
7	Алгоритм Гровера Рассматриваемые вопросы:

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

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	<ul style="list-style-type: none"> - Понятие о вычислениях, устойчивых к ошибкам. - Построение универсального набора устойчивых к ошибкам вентиляей. - Измерения, устойчивые к ошибкам. - Пороговая теорема.

4.2. Занятия семинарского типа.

Практические занятия

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
1	Элементарные квантовые алгоритмы В результате выполнения практического задания студент получит практические навыки в изучение основных однокубитовых квантовых логических алгоритмов.
2	Машина Тьюринга В результате выполнения практического задания студент получит практические навыки в записи алгоритмов с использованием машин Тьюринга.
3	Композиция машин Тьюринга В результате выполнения практического задания студент получит практические навыки в записи алгоритмов с использованием композиции машин Тьюринга.
4	Основные понятия квантовых вычислений 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 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 В результате выполнения практического задания студент научится определять разложимое состояние двухкубитной системы, описывать использование эффекта entanglement в квантовых вычислениях.
7	Разработка программ для алгоритмов Маркова В результате выполнения практического задания студент изучит программу имитатор алгоритмов Маркова. Выработать навык составления алгоритмов Маркова.
8	Квантовая криптография В результате выполнения практического задания студент получит практические навыки в описании классического подхода (квантовая криптография с открытым ключом), в описании квантового распределения ключей (КРК).
9	Квантовые гейты В результате выполнения практического задания студент проведет сравнение квантовых гейтов с классическими гейтами, опишет эффект квантового параллелизма.
10	Плотное квантовое кодирование В результате выполнения практического задания студент узнает алгоритмы, использующие запутанные состояния, научиться применять элемента ШОТ к двум телепортированным состояниям.
11	Алгоритм Саймона В результате выполнения практического задания студент сформулирует задачу Саймона, опишет алгоритм Саймона и его схемную реализацию, рассчитает время вычисления периода функции при классическом подходе и при использовании алгоритма Саймона.

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
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.	https://e.lanbook.com/book/426110
2	Прилипко, В. К. Физические основы квантовых вычислений. Динамика кубита : монография / В. К. Прилипко, И. И.	https://e.lanbook.com/book/412214

	Коваленко. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 216 с. — ISBN 978-5-507-50139-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система.	
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 автоматизированных систем управления. - М.: МИИТ, 2008. - 36 с.	https://library.miit.ru/bookscatalog/metod/04-35737.pdf

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 и
квантовые коммуникации»

Я.М. Голдовский

Согласовано:

Заведующий кафедрой ВССиИБ
Председатель учебно-методической
комиссии

Б.В. Желенков

Н.А. Андриянова