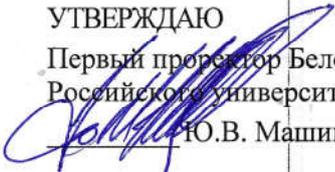


Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет»

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор Белорусско-
Российского университета


Ю.В. Машин

22.12.2023

Регистрационный № УД-010304/Б.Р.В.16.1

КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

(наименование дисциплины)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Направление подготовки 01.03.04 Прикладная математика

Направленность (профиль) Разработка программного обеспечения

Квалификация Бакалавр

	Форма обучения
	Очная
Курс	4
Семестр	7
Лекции, часы	34
Лабораторные занятия, часы	30
Экзамен, семестр	7
Контактная работа по учебным занятиям, часы	64
Самостоятельная работа, часы	80
Всего часов / зачетных единиц	144/4

Кафедра-разработчик программы: «Высшая математика»

Составитель: И.У. Примак, кандидат физ.-мат. наук, доцент
(И.О. Фамилия, ученая степень, ученое звание)

Могилев, 2023

Рабочая программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 01.03.04 Прикладная математика № 11 от 10.01.2018 г., учебным планом рег. № 010304-2.1 от 28.04.2023.

Рассмотрена и рекомендована к утверждению кафедрой «Высшая математика»
28.09.2023, протокол № 1.

Зав. кафедрой  В.Г. Замураев

Одобрена и рекомендована к утверждению Научно-методическим советом
Белорусско-Российского университета

20.12.2023, протокол № 3

Зам. председателя
Научно-методического совета

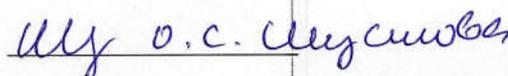
 С.А. Сухоцкий

Рецензент:

Леонид Евгеньевич Старовойтов доцент кафедры педагогики и психологии учреждения образования «Могилевский государственный областной институт развития образования», кандидат физико-математических наук, доцент
(И.О. Фамилия, должность, ученая степень, ученое звание рецензента)

Рабочая программа согласована:

Ведущий библиотекарь



Начальник учебно-методического
отдела

 О.Е. Печковская

1 ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

1.1 Цель учебной дисциплины

Целью учебной дисциплины является формирование специалистов, умеющих применять при проведении научно-исследовательских разработок методы и алгоритмы теории квантовых вычислений.

1.2 Планируемые результаты изучения дисциплины

В результате освоения учебной дисциплины студент должен

знать:

-основные законы квантовых вычислений, определения различных квантовых моделей вычислений (машин Тьюринга, автоматов, схем из функциональных элементов);

уметь:

-ориентироваться в области квантовых вычислений, и в том, где и каким образом применяются знания из этой области, в рассмотренных алгоритмах квантовых вычислений, демонстрирующих эффективность квантовых вычислителей по сравнению с классическими;

-объяснять с математической точки зрения такие явления квантовой механики, как телепортация, запутанность состояний, квантовая передача кода, квантовый параллелизм, и т.д.

владеть:

- основными понятиями квантовых вычислений, приемами и методами построения эффективных квантовых моделей

1.3 Место учебной дисциплины в системе подготовки студента

Дисциплина относится к Блоку 1 "Дисциплины (модули)" (Часть Блока 1, формируемая участниками образовательных отношений). Элективные дисциплины.

Перечень учебных дисциплин, изучаемых ранее, усвоение которых необходимо для изучения данной дисциплины:

- линейная алгебра;
- математический анализ;
- аналитическая геометрия;
- теория вероятностей и случайные процессы;
- математическая статистика;
- теория функций комплексной переменной;
- физика;
- теория функций и функциональный анализ.

Перечень учебных дисциплин, которые будут опираться на данную дисциплину:

- искусственный интеллект, машинное обучение, нейронные сети.

Кроме того, знания, полученные при изучении дисциплины на лекционных и практических занятиях, будут использоваться при прохождении проектно-технологической практики, а также при подготовке выпускной квалификационной работы.

1.4 Требования к освоению учебной дисциплины

Освоение данной учебной дисциплины должно обеспечивать формирование следующих компетенций:

Коды формируемых компетенций	Наименования формируемых компетенций
ПК-1	Способен проводить научно-исследовательские разработки при исследовании самостоятельных тем

2 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Вклад дисциплины в формирование результатов обучения выпускника (компетенций) и достижение обобщенных результатов обучения происходит путём освоения содержания обучения и достижения частных результатов обучения, описанных в данном разделе.

2.1 Содержание учебной дисциплины

Но ме р тем	Наименование тем	Содержание	Коды формируемых компетенций
1	Введение.	История возникновения квантовых вычислений. Современное состояние в данной области. Возможные физические основы построения квантового компьютера. Сферы применения квантовых вычислений.	ПК-1
2	Основные понятия квантовых вычислений.	Понятие квантового бита. Основные свойства. Квантовый регистр. Пространство состояний регистра квантовых битов в сравнении с пространством состояний регистра классических битов. Различие декартового и тензорного произведения. Квантовый параллелизм.	ПК-1
3	Основные постулаты квантовой механики	Основные постулаты квантовой механики. Основные математические понятия, используемые в теории квантовых вычислений. Квантовая система. Состояние квантовой системы. Эволюция квантовой системы. Квантовое измерение. Теорема неклонирования.	ПК-1
4	Определение запутанных квантовых состояний, примеры. EPR- парадокс.	Два различных определения запутанных квантовых состояний, примеры. EPR- парадокс. Использование эффекта entanglement в квантовых вычислениях.	ПК-1
5	Квантовая криптография	Квантовая криптография. Описание протокола, основанного на использовании квантового канала для передачи секретного ключа в криптографии.	ПК-1
6	Квантовые гейты.	Квантовые гейты. Их сравнение с классическими гейтами. Определение основных одно- и двухкубитных гейтов. Универсальные квантовые гейты.	ПК-1
7	Массивы квантовых гейтов. Квантовые схемы.	Массивы квантовых гейтов. Определение квантовой схемы. Отличия квантовых и классических схем. Квантовый параллелизм.	ПК-1
8	Плотное квантовое кодирование. Телепортация.	Алгоритмы, существенно образом использующие запутанные состояния. Плотное квантовое кодирование. Телепортация.	ПК-1
9	Простейшие квантовые алгоритмы: алгоритм Дойча, алгоритм Дойча-Джозса, алгоритм Бернштейна-Вазирани.	Первые квантовые алгоритмы, демонстрирующие превосходство квантовых вычислений перед классическими. Простейшие квантовые алгоритмы: алгоритм Дойча, алгоритм Дойча-Джозса, алгоритм Бернштейна-Вазирани.	ПК-1
10	Алгоритм Саймона	Алгоритм Саймона нахождения периода периодической функции по модулю 2. Сравнение с классическим алгоритмом.	ПК-1
11	Алгоритм Гровера поиска в неупорядоченной базе данных.	Алгоритм Гровера поиска в неупорядоченной базе данных. Сравнительная сложность решения задачи поиска квантовым и классическим алгоритмом. Анализ алгоритма.	ПК-1
12	Квантовое преобразование Фурье	Квантовое преобразование Фурье. Сравнение квантового и классического преобразования	ПК-1

		Фурье. Сложность квантового преобразования Фурье.	
13	Задача факторизации числа. Классический алгоритм. Квантовый алгоритм Шора.	Задача факторизации числа. Применение задачи факторизации числа. Классический алгоритм. Сложность задачи факторизации в классическом случае. Квантовый алгоритм Шора. Анализ квантового алгоритма факторизации.	ПК-1
14	Устойчивость квантовых вычислений.	Особенности квантовых вычислений. Понятие устойчивости квантовых вычислений.	ПК-1
15	Квантовое исправление ошибок.	Классическое исправление ошибок. Квантовое исправление ошибок.	
16	Квантовые и классические классы сложности.	Квантовые и классические классы сложности. Их соотношение. Гипотезы.	ПК-1
17	Перспективы построения квантового компьютера.	Квантовый компьютер на квантовых точках. Квантовый компьютер на электронных волнах. Квантовый компьютер на основе сверхпроводимости. Квантовый компьютер на жидком гелии.	

2.2 Учебно-методическая карта учебной дисциплины

№ недели	Лекции (наименование тем)	Часы	Лабораторные занятия	Часы	Самостоятельная работа, часы	Форма контроля знаний	Баллы (max)
1	1.Введение.	2	Лаб. р. 1 Введение.	2	2	ЗЛР	5
2	2.Основные понятия квантовых вычислений.	2	Лаб. р. 2 Основные понятия квантовых вычислений.	2	2	ЗЛР	5
3	3.Основные постулаты квантовой механики	2	Лаб. р. 3 Основные постулаты квантовой механики	2	2	ЗЛР	5
4	4.Определение запутанных квантовых состояний, примеры. EPR-парадокс.	2	Лаб. р. 4 Определение запутанных квантовых состояний.	2	2	ЗЛР	5
5	5.Квантовая криптография	2	Лаб. р. 5 Квантовая криптография.	2	2	ЗЛР	5
6	6.Квантовые гейты.	2	Лаб. р. 6 Квантовые гейты.	2	2		
7	7.Массивы квантовых гейтов. Квантовые схемы.	2	Лаб. р. 6 Квантовые гейты.	2	2	ЗЛР	5
8	8.Плотное квантовое кодирование. Телепортация.	2	Лаб. р. 7 Плотное квантовое кодирование.	2	2	ПКУ	30
9	9. Простейшие квантовые алгоритмы: алгоритм Дойча, алгоритм Дойча-Джозса, алгоритм Бернштейна-Вазирани.	2	Лаб. р. 8 Простейшие квантовые алгоритмы.	2	2	ЗЛР	5
10	10. Алгоритм Саймона	2	Лаб. р. 9 Алгоритм Саймона.	2	2	ЗЛР	5

11	11. Алгоритм Гровера поиска в неупорядоченной базе данных.	2	Лаб. р. 10 Алгоритм Гровера.	2	2	ЗЛР	5
12	12. Квантовое преобразование Фурье	2	Лаб. р. 11 Квантовое преобразование Фурье.	2	2	ЗЛР	5
13	13. Задача факторизации числа. Классический алгоритм. Квантовый алгоритм Шора.	2	Лаб. р. 12 Задача факторизации числа.	2	2	ЗЛР	5
14	14. Устойчивость квантовых вычислений	2	Лаб. р. 13 Устойчивость квантовых вычислений.	2	4		
15	15. Квантовое исправление ошибок.	2	Лаб. р. 13 Устойчивость квантовых вычислений.	2	4	ЗЛР	5
15	16. Квантовые и классические классы сложности.	2			6		
15	17. Перспективы построения квантового компьютера.	2			4	ПКУ	30
16-18					36	ПА (экзамен)	40
	Итого	34		30	80		100

Принятые обозначения:

Текущий контроль –

ЗЛР – защита лабораторной работы;

ПКУ – промежуточный контроль успеваемости.

ПА - Промежуточная аттестация.

Итоговая оценка определяется как сумма текущего контроля и промежуточной аттестации и соответствует баллам:

Экзамен

Оценка	Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно
Баллы	87-100	65-86	51-64	0-50

3 ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При изучении дисциплины используется модульно-рейтинговая система оценки знаний студентов. Применение форм и методов проведения занятий при изучении различных тем курса представлено в таблице.

№ п/п	Форма проведения занятия*	Вид аудиторных занятий		Всего часов
		Лекции	Лабораторные занятия	
1	Традиционные	1-17	1-13	64
	ИТОГО	34	30	64

4 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА

Используемые оценочные средства по учебной дисциплине представлены в таблице и хранятся на кафедре.

№ п/п	Вид оценочных средств	Количество комплектов
1	Вопросы к экзамену	1
2	Тестовые задания к экзамену	1
3	Вопросы к лабораторным работам	1

5 МЕТОДИКА И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТОВ

5.1 Уровни сформированности компетенций

№ п/п	Уровни сформированности компетенции	Содержательное описание уровня*	Результаты обучения
<i>Компетенция ПК-1</i> Способен проводить научно-исследовательские разработки при исследовании самостоятельных тем			
<i>Код и наименование индикатора достижения компетенции</i> ИПК-1.14 Способен применять знание теории квантовых вычислений при проведении научно-исследовательских разработок			
1	Пороговый уровень	Обязательный для всех выпускников университета по завершении ООП ВПО	Знает и понимает основные определения, понятия и алгоритмы теории квантовых вычислений, умеет применять свои знания к решению простейших типовых задач.
2	Продвинутый уровень	Превышение минимальных характеристик сформированности компетенции для выпускника университета	Умеет решать типовые задачи с использованием методов теории квантовых вычислений, которые могут быть полезными при проведении научно-исследовательских разработок.
3	Высокий уровень	Максимально возможная выраженность компетенции	Умеет решать задачи повышенной сложности с использованием методов теории квантовых вычислений, которые могут быть полезными при проведении научно-исследовательских разработок.

5.2 Методика оценки знаний, умений и навыков студентов

Результаты обучения	Оценочные средства
<i>Компетенция ПК-1</i> Способен проводить научно-исследовательские разработки при исследовании самостоятельных тем	
Знает и понимает основные определения, понятия и алгоритмы теории квантовых	Вопросы к экзамену Тестовые задания к экзамену Вопросы к лабораторным работам

вычислений, умеет применять свои знания к решению простейших типовых задач.	
Умеет решать типовые задачи с использованием методов теории квантовых вычислений, которые могут быть полезными при проведении научно-исследовательских разработок.	Вопросы к экзамену Тестовые задания к экзамену Вопросы к лабораторным работам
Умеет решать задачи повышенной сложности с использованием методов теории квантовых вычислений, которые могут быть полезными при проведении научно-исследовательских разработок.	Вопросы к экзамену Тестовые задания к экзамену Вопросы к лабораторным работам

5.3 Критерии оценки лабораторных работ

Защита лабораторной работы позволяет студенту получить максимум 5 баллов. Оценка лабораторной работы преподавателем определяется на основе ответов на вопросы и решения задач студентом. При этом студент получает:

- 1 балл в случае правильных ответов на 20% вопросов и задач;
- 2 балла в случае правильных ответов на 40% вопросов и задач;
- 3 балла в случае правильных ответов на 60% вопросов и задач;
- 4 балла в случае правильных ответов на 80% вопросов и задач;
- 5 баллов в случае правильных ответов на 100% вопросов и задач.

5.6 Критерии оценки экзамена

Согласно подразделу 2.2 итоговая экзаменационная оценка определяется в результате установления соответствия между суммой баллов промежуточного контроля успеваемости и текущей аттестации (экзамена) и оценкой по пятибалльной шкале. Текущая аттестация (экзамен) оценивается до 40 баллов, которые студент может получить выполнив тестовые задания.

Тест оценивается по следующей формуле:

$$S = 40 \frac{P}{N},$$

где S -число набранных баллов за выполнение теста, N - число заданий в тесте, P -число правильных ответов.

6 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

Самостоятельная работа студентов (СРС) направлена на закрепление и углубление освоения учебного материала, развитие практических умений. СРС включает следующие виды самостоятельной работы студентов:

- конспектирование;
- решение задач и упражнений по образцу;
- работа с лекционными материалами, включая основную и дополнительную литературу, которые представлены в пунктах 7.1 и 7.2;
- работа с материалами курса, вынесенными на самостоятельное изучение;
- работа со справочной литературой;
- подготовка к лабораторным работам;
- подготовка к зачету.

Для СРС рекомендуется использовать источники, приведенные в п. 7.

Перечень методических указаний приведен в п. 7.4.1 и они хранятся в кабинете математики (к. 405). Кроме того, их электронные варианты представлены в университетской сети Интернет по адресу: eco.bru.by.

По адресу cdo.bru.by (учебные материалы), находится разработанный на кафедре электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК), который включает:

- курс лекций;
- методические рекомендации для лабораторных работ;
- вопросы к лабораторным работам;
- вопросы к зачету,
- образцы билетов к зачету;
- список литературы.

7 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1 Основная литература

№ п/п	Библиографическое описание	Гриф	Количество экземпляров
	Румянцев, К. Е. Квантовые технологии в телекоммуникационных системах : учебник / К. Е. Румянцев ; Южный федеральный университет. - Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2021. - 346 с.	—	https://znanium.com/catalog/product/1894446

7.2 Дополнительная литература

№ п/п	Библиографическое описание	Гриф	Количество экземпляров
1	Перри, Р. Элементарное введение в квантовые вычисления : учебное пособие / Р. Перри. - 2-е изд. - Долгопрудный : Интеллект, 2018. - 208 с.	—	https://znanium.com/catalog/product/1022486
2	Сысоев, С. С. Введение в квантовые вычисления : квантовые алгоритмы : учебное пособие / С. С. Сысоев. - СПб : Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2019. - 144 с.	—	https://znanium.com/catalog/product/1080947

7.3 Перечень ресурсов сети Интернет по изучаемой дисциплине

Eco.bru.by, cdo.bru.by, exponenta.ru, википедия, intuit.ru, openedu.ru, [:qc-sim.appspot.com](http://qc-sim.appspot.com)

7.4 Перечень наглядных и других пособий, методических рекомендаций по проведению учебных занятий, а также методических материалов к используемым в образовательном процессе техническим средствам

7.4.1 Методические рекомендации

1. Примак И.У. Квантовые вычисления. Методические рекомендации к лабораторным работам для студентов для студентов направления подготовки 01.03.04 «Прикладная математика». Могилев: ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», 2022 –28 с. (56 экз.)

7.4.3 Перечень программного обеспечения, используемого в образовательном процессе

Open Office (в свободном доступе)

8 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Материально-техническое обеспечение дисциплины содержится в паспорте лаборатории «405» рег. номер ПУЛ-4.535-405/1-23

КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

(наименование дисциплины)

АННОТАЦИЯ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Направление подготовки 01.03.04 Прикладная математика

Направленность (профиль) Разработка программного обеспечения

	Форма обучения
	Очная
Курс	4
Семестр	7
Лекции, часы	34
Лабораторные занятия, часы	30
Экзамен, семестр	7
Контактная работа по учебным занятиям, часы	64
Самостоятельная работа, часы	80
Всего часов / зачетных единиц	144/4

1 Цель учебной дисциплины

Целью учебной дисциплины является формирование специалистов, умеющих применять при проведении научно-исследовательских разработок методы и алгоритмы теории квантовых вычислений.

2. Планируемые результаты изучения дисциплины

В результате освоения учебной дисциплины студент должен

знать:

-основные законы квантовых вычислений, определения различных квантовых моделей вычислений (машин Тьюринга, автоматов, схем из функциональных элементов);

уметь:

-ориентироваться в области квантовых вычислений, и в том, где и каким образом применяются знания из этой области, в рассмотренных алгоритмах квантовых вычислений, демонстрирующих эффективность квантовых вычислителей по сравнению с классическими;

-объяснять с математической точки зрения такие явления квантовой механики, как телепортация, запутанность состояний, квантовая передача кода, квантовый параллелизм, и т.д.

владеть:

- основными понятиями квантовых вычислений, приемами и методами построения эффективных квантовых моделей

3. Требования к освоению учебной дисциплины

Освоение данной учебной дисциплины должно обеспечивать формирование следующих компетенций:

ПК-1 Способен проводить научно-исследовательские разработки при исследовании самостоятельных тем.

4. Образовательные технологии: традиционные.