

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

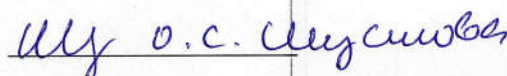
 С.А. Сухоцкий

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<br>ме<br>р<br>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<br>(наименование тем)  | Часы | Лабораторные<br>занятия                               | Часы | Самостоятельная<br>работа, часы | Форма контроля<br>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<br>(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          |
|       | <b>ИТОГО</b>              | 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><br>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<br>Тестовые задания к экзамену<br>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<br>Тестовые задания к экзамену<br>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<br>Тестовые задания к экзамену<br>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](http://eco.bru.by).

По адресу [cdo.bru.by](http://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. | —    | <a href="https://znanium.com/catalog/product/1894446">https://znanium.com/catalog/product/1894446</a> |

### 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.            | —    | <a href="https://znanium.com/catalog/product/1022486">https://znanium.com/catalog/product/1022486</a> |
| 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. | —    | <a href="https://znanium.com/catalog/product/1080947">https://znanium.com/catalog/product/1080947</a> |

### 7.3 Перечень ресурсов сети Интернет по изучаемой дисциплине

[Eco.bru.by](http://Eco.bru.by), [cdo.bru.by](http://cdo.bru.by), [exponenta.ru](http://exponenta.ru), википедия, [intuit.ru](http://intuit.ru), [openedu.ru](http://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.