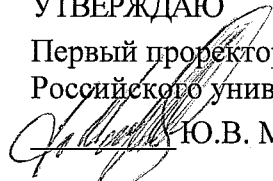


Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет»

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор Белорусско-
Российского университета


Ю.В. Машин

«20» 12. 2019 г.

Регистрационный № УД-010304/Б.1.В.20.1/р.

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	30
Лабораторные занятия, часы	30
Зачёт, семестр	7
Контактная работа по учебным занятиям, часы	60
Самостоятельная работа, часы	84
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, 2019

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. № 010304-1 от 25.10.2019 г..

Рассмотрена и рекомендована к утверждению кафедрой «Высшая математика»
28.11.2019 г., протокол № 3.

Зав. кафедрой  В.Г. Замураев

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

«18» декабря 2019 г., протокол № 3.

Зам. председателя
Научно-методического совета

 С.А. Сухоцкий

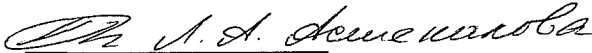
Рецензент:

В.А. Юревич, профессор кафедры физики Могилевского государственного университета
продовольствия, доктор физ.-мат. наук, профессор

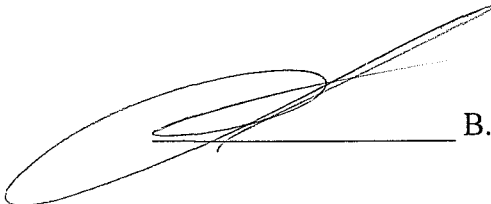
(И.О. Фамилия, должность, ученая степень, ученое звание рецензента)

Рабочая программа согласована:

Ведущий библиотекарь



Начальник учебно-методического
отдела

 В.А. Кемова

1 ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

1.1 Цель учебной дисциплины

Целью учебной дисциплины является обеспечение студентов базовыми знаниями в области квантовых вычислений и алгоритмов, а также в приобретении навыков использования предлагаемого математического аппарата для решения практических задач.

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). Дисциплина по выбору.

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, результаты изучения дисциплины используются в ходе практики и 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 формулировать постановки задач моделирования, осуществлять анализ математических моделей и проверять их корректность.

ПК-2	Способен обоснованно выбирать методы решений поставленных математических задач, разрабатывать алгоритмы решений, реализовывать алгоритмы в виде программ, анализировать результаты.
------	---

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 мер 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,ПК-2
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,ПК-2
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,ПК-2
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,ПК-2
5	Квантовая криптография	Квантовая криптография. Описание протокола, основанного на использовании квантового канала для передачи секретного ключа в криптографии.	ПК-1,ПК-2
6	Квантовые гейты.	Квантовые гейты. Их сравнение с классическими гейтами. Определение основных одно- и двухкубитных гейтов. Универсальные квантовые гейты.	ПК-1,ПК-2
7	Массивы квантовых гейтов. Квантовые схемы.	Массивы квантовых гейтов. Определение квантовой схемы. Отличия квантовых и классических схем. Квантовый параллелизм.	ПК-1,ПК-2
8	Плотное квантовое кодирование. Телепортация.	Алгоритмы, существенным образом использующие запутанные состояния. Плотное квантовое кодирование. Телепортация.	ПК-1,ПК-2
9	Простейшие квантовые алгоритмы: алгоритм Дойча, алгоритм Дойча-Джозса, алгоритм	Первые квантовые алгоритмы, демонстрирующие превосходство квантовых вычислений перед классическими. Простейшие квантовые	ПК-1,ПК-2

	Бернштейна-Вазирани.	алгоритмы: алгоритм Дойча, алгоритм Дойча-Джозса, алгоритм Бернштейна-Вазирани.	
10	Алгоритм Саймона	Алгоритм Саймона нахождения периода периодической функции по модулю 2. Сравнение с классическим алгоритмом.	ПК-1,ПК-2
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,ПК-2
12	Квантовое преобразование Фурье	Квантовое преобразование Фурье. Сравнение квантового и классического преобразования Фурье. Сложность квантового преобразования Фурье.	ПК-1,ПК-2
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,ПК-2
14	Устойчивость квантовых вычислений. Квантовое исправление ошибок.	Особенности квантовых вычислений. Понятие устойчивости квантовых вычислений. Квантовое исправление ошибок.	ПК-1,ПК-2
15	Квантовые и классические классы сложности.	Квантовые и классические классы сложности. Их соотношение. Гипотезы.	ПК-1,ПК-2

2.2 Учебно-методическая карта учебной дисциплины

№ недели	Лекции (наименование тем)	Часы	Практические (семинарские) занятия	Часы	Лабораторные занятия	Часы	Самостоятельная работа, часы	Форма контроля знаний	Баллы (max)
Модуль 1									
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	4	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	4	ЗЛР	5
5	5.Квантовая криптография	2			Лаб. р. 5 Квантовая криптография.	2	6	ЗЛР	5
6	6.Квантовые гейты.	2			Лаб. р. 6 Квантовые гейты.	2	4		
7	7.Массивы квантовых гейтов. Квантовые схемы.	2			Лаб. р. 6 Квантовые гейты.	2	6	ЗЛР	5
8	8.Плотное квантовое	2			Лаб. р. 7 Плотное	2	4	ПКУ	30

	кодирование. Телепортация.				квантовое кодирование.				
Модуль 2									
9	9. Простейшие квантовые алгоритмы: алгоритм Дойча, алгоритм Дойча-Джозса, алгоритм Бернштейна-Вазирани.	2			Лаб. р. 8 Простейшие квантовые алгоритмы.	2	6	ЗЛР	5
10	10. Алгоритм Саймона	2			Лаб. р. 9 Алгоритм Саймона.	2	4	ЗЛР	5
11	11. Алгоритм Гровера поиска в неупорядоченной базе данных.	2			Лаб. р. 10 Алгоритм Гровера.	2	4	ЗЛР	5
12	12. Квантовое преобразование Фурье	2			Лаб. р. 11 Квантовое преобразование Фурье.	2	4	ЗЛР	5
13	13. Задача факторизации числа. Классический алгоритм. Квантовый алгоритм Шора.	2			Лаб. р. 12 Задача факторизации числа.	2	4	ЗЛР	5
14	14. Устойчивость квантовых вычислений. Квантовое исправление ошибок.	2			Лаб. р. 13 Устойчивость квантовых вычислений.	2	6	ЗЛР	5
15	15. Квантовые и классические классы сложности.	2			Лаб. р. 13 Устойчивость квантовых вычислений.	2	24	ПКУ ПА (зачет)	30 40
	Итого	30				30	84		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:

Зачет

Оценка	Зачтено	Не зачтено
Баллы	51-100	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	1-15	1-13	
	ИТОГО	30	30	60

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 зачёту	1
2	Билеты к зачёту	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
<p><i>Компетенция ПК-1</i> Способен формулировать постановки задач моделирования, осуществлять анализ математических моделей и проверять их корректность.</p> <p><i>Код и наименование индикатора достижения компетенции</i></p> <p>ПК-1.14 Способен использовать знание теории квантовых вычислений и квантовых алгоритмов при постановке задач моделирования и анализе математических моделей</p>			
1	Пороговый уровень	Знать и понимать основные определения и теоремы курса; знать и понимать актуальные проблемы квантовых вычислений и квантовых алгоритмов в рамках учебной программы; уметь изложить основные теоретические проблемы; уметь найти необходимую информацию; уметь репродуцировать имеющуюся информацию; быть готовым к воспроизведению полученных знаний.	Умение применять знание квантовых вычислений и квантовых алгоритмов в типичных задачах моделирования.
2	Продвинутый уровень	Уметь анализировать и синтезировать полученную информацию; знать и понимать междисциплинарные основы квантового моделирования; уметь применять различные методы и технологии для решения задач; уметь использовать изученную терминологию в устной беседе.	Умение использовать знание квантовых вычислений и квантовых алгоритмов в задачах моделирования, которые не являются типичными, но знакомы студентам или выходят за рамки известного лишь в небольшой степени.
3	Высокий уровень	Знать и понимать актуальные проблемы квантовых вычислений, выходящие за рамки учебной программы; уметь применять	Умение использовать знание квантовых вычислений и квантовых алгоритмов в задачах

		различные методы и технологии для решения задач; уметь представлять, объяснять, анализировать и интерпретировать полученные результаты; уметь вести научную дискуссию; уметь устанавливать междисциплинарные связи; уметь систематизировать полученную информацию.	моделирования, которые требуют определенной интуиции, размышлений и творчества.
<i>Компетенция ПК-2</i> Способен обоснованно выбирать методы решений поставленных математических задач, разрабатывать алгоритмы решений			
<i>Код и наименование индикатора достижения компетенции</i> ПК-2.21 Способен применять знание теории квантовых вычислений при выборе методов решений задач, осуществлять поиск решений, анализировать результаты			
1	Пороговый уровень	Знать и понимать основные определения и теоремы курса; знать и понимать актуальные проблемы теории квантовых вычислений в рамках учебной программы; уметь изложить основные теоретические проблемы; уметь найти необходимую информацию; уметь репродуцировать имеющуюся информацию; быть готовым к воспроизведению полученных знаний.	Умение с помощью методов квантовых вычислений решать типичные задачи,
2	Продвинутый уровень	Уметь анализировать и синтезировать полученную информацию; знать и понимать междисциплинарные основы квантовых вычислений; уметь применять различные методы и технологии для решения задач; уметь использовать изученную терминологию в устной беседе.	Умение применять знание теории квантовых вычислений при выборе метода решения, осуществлении поиска решения и анализе результатов решения в ситуации, когда рассматриваемая задача не является типичной, однако выходит за рамки известного лишь в небольшой степени.
3	Высокий уровень	Знать и понимать актуальные проблемы квантовых вычислений, выходящие за рамки учебной программы; уметь применять различные методы и технологии для решения задач; уметь представлять, объяснять, анализировать и интерпретировать полученные результаты; уметь вести научную дискуссию; уметь устанавливать междисциплинарные связи; уметь	Умение с помощью методов квантовых вычислений решать задачи, которые требуют определенной интуиции, размышлений и творчества, самостоятельной разработки алгоритма действий.

	систематизировать полученную информацию.	
--	--	--

5.2 Методика оценки знаний, умений и навыков студентов

Результаты обучения	Оценочные средства
<i>Компетенция ПК-1</i> Способен формулировать постановки задач моделирования, осуществлять анализ математических моделей и проверять их корректность.	
Пороговый уровень	Вопросы к зачёту Билеты к зачёту Вопросы к лабораторным работам
Продвинутый уровень	Вопросы к зачёту Билеты к зачёту Вопросы к лабораторным работам
Высокий уровень	Вопросы к зачёту Билеты к зачёту Вопросы к лабораторным работам
<i>Компетенция ПК-2</i> Способен обоснованно выбирать методы решений поставленных математических задач, разрабатывать алгоритмы решений	
Пороговый уровень	Вопросы к зачёту Билеты к зачёту Вопросы к лабораторным работам
Продвинутый уровень	Вопросы к зачёту Билеты к зачёту Вопросы к лабораторным работам
Высокий уровень	Вопросы к зачёту Билеты к зачёту 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 зачета

На зачёте за ответ на теоретические вопросы и решение задач возможно максимально набрать 40 баллов. В рамках этого, критерий оценки ответа на теоретический вопрос или решения задачи:

- 0–1** балл – полное отсутствие знаний по теоретическому вопросу; отсутствие навыков решения задачи;
- 2–3** балла – фрагментарное знание теоретического вопроса в объеме учебной программы или фрагментарное умение решать задачу, незнание используемой в вопросе терминологии, грубые ошибки в рассуждениях или в решении задачи;
- 4–5** баллов – неполное знание теоретического вопроса в объеме учебной программы, используемой в вопросе терминологии, или неполное умение решать задачи, допущено более одной ошибки;

6–8 баллов – знание теоретического вопроса в объеме учебной программы при наличии незначительных ошибок в используемых формулах, формулировках и определениях, которые сам студент исправляет в процессе ответа; уверенное самостоятельное решение задачи при наличии незначительных арифметических ошибок;

9–10 баллов – уверенное знание теоретического вопроса в объеме учебной программы и уверенное знание используемой в вопросе терминологии; уверенное самостоятельное решение задачи и уверенное знание используемой в задаче терминологии.

Итоговая оценка зачета представляет собой сумму баллов текущего контроля и промежуточной аттестации и выставляется преподавателем в соответствии с приведенной в подразделе 2.2 шкалой

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: есо.bru.by.

По адресу sdo.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
1	Душкин, Р.В. Квантовые вычисления и функциональное программирование / Р.В. Душкин. - Москва : ДМК Пресс, 2015. - 232 с. URL: http://znanium.com/catalog/product/1028109		Znanium.com

7.2 Дополнительная литература

№ п/п	Библиографическое описание	Гриф	Количество экземпляров
	Квантовая информатика и квантовые биты на		Znanium.com

	основе сверхпроводниковых джозефсоновских структур: Учебник / Е.В. Ильичев, Я.С. Гринберг. - Новосибирск: НГТУ, 2013. - 172 с. http://znanium.com/catalog/product/490017		
	Квантовая случайность. Нелокальность, телепортация и другие квантовые чудеса / Жизан Н. - М.: Альпина нон-фикшн, 2016. -202 с. http://znanium.com/catalog/product/550060		Znanium.com
	Философские проблемы квантовой теории информации: Учебное пособие / Поликарпов В.С., Поликарпова Е.В., Поликарпова В.А. - Таганрог: Южный федеральный университет, 2016. - 192 с. http://znanium.com/catalog/product/991929		Znanium.com

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

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 (электронный вариант) к лабораторным работам для студентов 01.03.04 «Прикладная математика». Могилев, Белорусско-Российский университет.

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-4.535-405/1-19