


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
цифровых технологий

 / Кургалин С.Д.

22.04.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.01.01.05 АЛГОРИТМЫ КОРРЕКЦИИ ОШИБОК

- 1. Код и наименование направления подготовки:**
02.03.01 Математика и компьютерные науки
- 2. Профиль подготовки:**
математическое и программное обеспечение информационных систем и технологий
- 3. Квалификация выпускника:**
бакалавр
- 4. Форма обучения:** очная
- 5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:**
кафедра цифровых технологий
- 6. Составители программы:**
Клинских Александр Федотович, д.ф.-м.н., профессор
- 7. Рекомендована:**
НМС ФКН (протокол № 5 от 05.03.2024)
- 8. Учебный год:** 2027-2028 **Семестр:** 7

9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины является ознакомление с теорией квантовых кодов коррекции ошибок.

Задачи учебной дисциплины:

- проведение классификации возможных ошибок и алгоритмов коррекции;
- анализ квантовых кодов с повторениями и Шора.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина относится к блоку Б1 учебного плана (часть, формируемая участниками образовательных отношений, дисциплины по выбору).

Требования к входным знаниям, умениям и навыкам: основные понятия квантовой механики, алгоритмы квантовых вычислений и их реализации с использованием квантовых схем.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-3	Способен создавать и исследовать новые математические модели в естественных науках, промышленности и бизнесе, с учетом возможностей современных информационных технологий и программирования и компьютерной техники.	ПК-3.1	Знает основные методы проектирования и производства программного продукта, принципы построения, структуры и приемы работы с инструментальными средствами, поддерживающими создание программных продуктов и программных комплексов, их сопровождения, администрирования и развития (эволюции).	Знать: принципы построения квантовых кодов коррекции ошибок
		ПК-3.2	Умеет использовать методы проектирования и производства программного продукта, принципы построения, структуры и приемы работы с инструментальными средствами, поддерживающими создание программного продукта.	Уметь: реализовывать алгоритмы коррекции ошибок с использованием квантовых схем
		ПК-3.3	Имеет практический опыт применения указанных выше методов и технологий.	Владеть: навыками реализации алгоритмов коррекции ошибок на платформе QISKit
ПК-4	Способен использовать современные методы разработки и реализации конкретных алгоритмов математических моделей на базе языков программирования и пакетов прикладных программ моделирования.	ПК-4.1	Знает современные методы разработки и реализации алгоритмов математических моделей на базе языков и пакетов прикладных программ моделирования.	Знать: методы разработки квантовых алгоритмов коррекции ошибок
		ПК-4.2	Умеет разрабатывать и реализовывать алгоритмы математических моделей на базе языков и пакетов прикладных программ моделирования.	Уметь: формулировать результаты работы алгоритмов коррекции ошибок
		ПК-4.3	Имеет практический опыт разработки и реализации алгоритмов на базе языков и пакетов прикладных программ моделирования.	Владеть: практическими навыками разработки алгоритмов коррекции ошибок

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час — 2/72.

Форма промежуточной аттестации: зачет с оценкой

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость	
	Всего	По семестрам
		7 семестр
Аудиторные занятия	32	32
в том числе:	лекции	16
	практические	
	лабораторные	16
Самостоятельная работа	40	40
в том числе: курсовая работа (проект)		
Форма промежуточной аттестации (зачет с оценкой)		
Итого:	72	72

13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК*
1. Лекции			
1.1	Квантовые схемы алгоритмов коррекции ошибок	1. Постановка задачи коррекции ошибок 2. Классические коды с повторением 3. Классификация ошибок 4. Трёхкубитовый код с повторением 5. Код Шора 6. Квантовые схемы кодов коррекции ошибок	
2. Практические занятия			
2.1	Квантовые схемы алгоритмов коррекции ошибок	1. Код с повторением 2. Фазовые ошибки 3. Квантовые схемы реализации 4. Код Шора и квантовая схема для его реализации	

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)			
		Лекции	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Квантовые схемы коррекции ошибок	16	16	40	72
	Итого:	16	16	40	72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины складывается из аудиторной работы (учебной деятельности, выполняемой под руководством преподавателя) и внеаудиторной работы (учебной деятельности, реализуемой обучающимся самостоятельно).

Аудиторная работа состоит из работы на лекциях и выполнения практических заданий в объёме, предусмотренном учебным планом. Лекция представляет собой последовательное и систематическое изложение учебного материала, направленное на знакомство обучающихся с основными понятиями и теоретическими положениями изучаемой дисциплины.

Лекционные занятия формируют базу для практических занятий, на которых полученные теоретические знания применяются для решения конкретных практических задач. Обучающимся для успешного освоения дисциплины рекомендуется вести конспект лекций и практических занятий.

Самостоятельная работа предполагает углублённое изучение отдельных разделов дисциплины с использованием литературы, рекомендованной преподавателем, а также конспектов лекций, конспектов практических занятий. В качестве плана для самостоятельной работы может быть использован раздел 13.1 настоящей рабочей программы, в котором зафиксированы разделы дисциплины и их содержание. В разделе 13.2 рабочей программы определяется количество часов, отводимое на самостоятельную работу по каждому разделу дисциплины. Большее количество часов на самостоятельную работу отводится на наиболее трудные разделы дисциплины. Для самостоятельного изучения отдельных разделов дисциплины используется перечень литературы и других ресурсов, перечисленных в пунктах 15 и 16 настоящей рабочей программы. Обязательным элементом самостоятельной работы является выполнение домашнего задания.

Успешность освоения дисциплины определяется систематичностью и глубиной аудиторной и внеаудиторной работы обучающегося.

При использовании дистанционных образовательных технологий и электронного обучения требуется выполнять все указания преподавателей, вовремя подключаться к онлайн-занятиям, ответственно подходить к заданиям для самостоятельной работы.

В рамках дисциплины предусмотрено проведение трёх текущих аттестаций за семестр. Результаты текущей успеваемости учитываются при выставлении оценки по промежуточной аттестации в соответствии с положением П ВГУ 2.1.04.16–2019 «Положение о текущей и промежуточной аттестации знаний, умений и навыков обучающихся на факультете компьютерных наук Воронежского государственного университета с использованием балльно-рейтинговой системы».

Обучение лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется с учетом их индивидуальных психофизических особенностей и в соответствии с индивидуальной программой реабилитации. Для лиц с нарушением слуха при необходимости допускается присутствие на лекциях и практических занятиях ассистента, а также сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков. Промежуточная аттестация для лиц с нарушениями слуха проводится в письменной форме, при этом используются общие критерии оценивания. При необходимости время подготовки на зачете может быть увеличено. Для лиц с нарушением зрения допускается аудиальное предоставление информации (например, с использованием программ-синтезаторов речи), а также использование на лекциях звукозаписывающих устройств (диктофонов и т.д.). На лекциях и практических занятиях при необходимости допускается присутствие ассистента. При проведении промежуточной аттестации для лиц с нарушением зрения тестирование может быть заменено на устное собеседование по вопросам. При необходимости время подготовки на экзамене может быть увеличено. Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата при необходимости допускается присутствие ассистента на лекциях и практических занятиях. Промежуточная аттестация для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата проводится на общих основаниях, при необходимости процедура экзамена может быть реализована дистанционно.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Березкин, Е. Ф. Основы теории информации и кодирования / Е. Ф. Березкин. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 320 с. — ISBN 978-5-507-47130-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/330500
2	Попов, И. Ю. Теория информации / И. Ю. Попов, И. В. Блинова. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 160 с. — ISBN 978-5-507-44279-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/218870
3	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. — URL: https://e.lanbook.com/book/426110

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1	Запрягаев С. А. Квантовые информационные системы. БХВ – Петербург, Санкт-Петербург. 2023, 320 стр.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет):

№ п/п	Ресурс
1	ЗНБ ВГУ: https://lib.vsu.ru/
2	Электронно-библиотечная система "Университетская библиотека online": http://biblioclub.ru/
3	Электронно-библиотечная система "Лань": https://e.lanbook.com/
4	Электронно-библиотечная система "Консультант студента": http://www.studmedlib.ru
5	Электронный университет ВГУ: https://edu.vsu.ru/

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
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. — URL: https://e.lanbook.com/book/426110

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ, электронное обучение (ЭО), смешанное обучение)

При реализации дисциплины могут использоваться технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии на базе портала edu.vsu.ru, а также другие доступные ресурсы сети Интернет.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Аудитория для лекционных занятий: мультимедиа-проектор, экран для проектора, компьютер с выходом в сеть «Интернет». Специализированная мебель (столы ученические, стулья, доска). Программное обеспечение: LibreOffice v.5-7, программа для просмотра файлов формата pdf, браузер.

Аудитория для лабораторных занятий: компьютеры с выходом в сеть «Интернет» и доступом к электронным библиотечным системам, специализированная мебель (столы ученические, стулья, доска). Программное обеспечение: LibreOffice v.5-7, программа для просмотра файлов формата pdf, браузер.

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1	Квантовые схемы коррекции ошибок	ПК-3 ПК-4	ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3 ПК-4.1, ПК-4.2, ПК-4.3	Письменный опрос Лабораторная работа Тестовые задания
Промежуточная аттестация форма контроля – зачёт с оценкой				Перечень вопросов к зачёту

20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1. Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: контрольная работа, лабораторная работа, тестовые задания.

Контрольная работа

1. Чему равна ошибка при выборе по большинству в трёхкубитовом коде? (10 баллов)
2. Дан вектор состояния. Чему равно среднее от проекторов? (20 баллов)
3. Дана квантовая схема. Чему равен вектор на выходе схемы? (10 баллов)
4. Дана квантовая схема и различные векторы на входе. Чему равны векторы на выходе схемы? (10 баллов)

Критерии оценивания контрольных работ

- 0-24 балла — «неудовлетворительно»
- 25-34 балла — «удовлетворительно»
- 35-44 балла — «хорошо»
- 45-50 баллов — «отлично»

Перечень лабораторных работ

1. Код с повторением
2. Фазовые ошибки
3. Квантовые схемы реализации
4. Код Шора и квантовая схема для его реализации

Типовое задание для лабораторной работы

Лабораторная работа № 2 «Фазовые ошибки»

Цель работы: разобрать работу квантовой схемы исправления фазовых ошибок.

Требования к выполнению работы: выполнение лабораторной работы предусматривает

написание программы, реализующей алгоритм коррекции фазовых ошибок. Отчёт о работе проводится в виде собеседования и заключается в демонстрации работы программы, объяснении принципов работы алгоритма и ответов на дополнительные вопросы.

Критерии оценки: для получения оценки «зачтено» необходимо показать высокий уровень владения теоретическим материалом, уметь объяснить принцип работы написанной программы, верно ответить на дополнительные вопросы.

Задание: написать программу, реализующую алгоритм коррекции фазовых ошибок. Проверить работу программы на контрольном примере

Тестовые задания

Задания с выбором ответа

№	Задание	Варианты ответа	Верный ответ
1	Упростить выражение: $ 0\rangle\langle 0 + 1\rangle\langle 1 $	1) I; 2) 0; 3) X; 4) Z	I
2	Вычислить $\langle 0 X 1\rangle$	1) 0; 2) 1; 3) -1; 4) 2	1
3	Вычислить $\langle 0 X 0\rangle$	1) 0; 2) 1; 3) -1; 4) 2	0
4	Вычислить $\langle 0 X 1\rangle$	1) 0; 2) 1; 3) -1; 4) 2	1
5	Вычислить $\langle 1 X 1\rangle$	1) 0; 2) 1; 3) -1; 4) 2	0
6	Вычислить $\langle + X +\rangle$	1) 0; 2) 1; 3) -1; 4) 2	1
7	Вычислить $\langle + X -\rangle$	1) 0; 2) 1; 3) -1; 4) 2	0
8	Вычислить $\langle - X +\rangle$	1) 0; 2) 1; 3) -1; 4) 2	0
9	Вычислить $\langle - X -\rangle$	1) 0; 2) 1; 3) -1; 4) 2	1
10	Вычислить $\langle - Z +\rangle$	1) 0; 2) 1; 3) -1; 4) 2	1

Задания с кратким ответом

№	Задание	Верный ответ
1	Кодирование осуществляется с помощью квантовой схемы: $c\text{-NOT}((0,1) c\text{-NOT}((0,2))$. Какой вид имеют кодовые слова?	$ 000\rangle,$ $ 111\rangle$
2	Кодирование осуществляется с помощью квантовой схемы: $c\text{-NOT}((0,1) c\text{-NOT}((0,2)(H)H)$. Какой вид имеют кодовые слова?	$ +++ \rangle,$ $ --- \rangle$
3	Упростить выражение HZH .	X
4	Упростить выражение HXH .	Z
5	Упростить выражение $ZYXHZYX$	(-H)

Задания с развёрнутым ответом

Задание 1. Чему равна ошибка при выборе по большинству в трёхкубитовом коде, если ошибка на одном кубите равна p ?

Решение.

Применяем формулы сложения и умножения вероятностей: $p_e = p^3 + 3p^2(1-p)$.

Задание 2. Найти результат произведения $U_{\text{CNOT}} U_{\text{CNOT}}$.

Решение.

Непосредственно получаем (II).

Задание 3. Найти результат произведения $U_{\text{CNOT}}(XI)U_{\text{CNOT}}$.

Решение.

Непосредственно получаем (XI) .

Задание 4. Найти результат произведения $ZXHZNY$.

Решение.

Непосредственно получаем $(-iX)$.

Задание 5. Дана квантовая схема $(HII)(CX(0,1))(CX(0,2))$. Как выглядит выходной вектор?

Решение.

Непосредственно получаем $0,707(|000\rangle + |111\rangle)$.

Критерии оценивания	Баллы
Имеется верная последовательность всех этапов решения, обоснованно получен верный ответ.	3
Получен неверный ответ из-за вычислительной ошибки, при этом имеется верная последовательность всех этапов решения.	2
Получен верный ответ, однако имеются пропуски одного или двух этапов решения ИЛИ Решение не завершено, однако верно выполнен хотя бы один из этапов решения.	1
Решение не соответствует ни одному из критериев, перечисленных выше.	0

20.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: перечень вопросов к зачёту.

Перечень вопросов к зачёту

- 1) Классические(битовые) ошибки.
- 2) Синдром ошибки.
- 3) Проекторы.
- 4) Квантовая схема кодирования и коррекция битовых ошибок.
- 5) Фазовые ошибки.
- 6) Квантовая схема кодирования и коррекция фазовых ошибок..
- 7) Код Шора.

Для оценивания результатов обучения на зачёте с оценкой используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<p>Дан полный, развёрнутый ответ на поставленный вопрос (вопросы), обучающийся свободно оперирует основными понятиями дисциплины, ориентируется в предметной области. Изложение материала не содержит ошибок, отличается последовательностью, грамотностью, логической стройностью.</p>	Повышенный уровень	Отлично
<p>Дан развёрнутый ответ на поставленный вопрос (вопросы), обучающийся свободно оперирует основными понятиями дисциплины, ориентируется в предметной области. Материал изложен в целом последовательно и грамотно, отсутствуют грубые ошибки, однако имеются отдельные неточности в определениях, вычислениях, доказательствах, изложениях положений теории.</p>	Базовый уровень	Хорошо
<p>Ответ на поставленный вопрос (вопросы) содержит изложение только базового теоретического материала, имеются ошибки в определениях, вычислениях, доказательствах, формулировках положений теории. Нарушена логическая последовательность в изложении материала.</p>	Пороговый уровень	Удовлетворительно
<p>Ответ на поставленный вопрос (вопросы) отсутствует, либо содержит грубые ошибки в определениях, вычислениях, доказательствах, формулировках положений теории. Обучающийся не владеет основными понятиями дисциплины. Отсутствует логическая последовательность в изложении материала.</p>	–	Неудовлетворительно