



С. М. Гушанский  
В. С. Потапов

# Теория и практика КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

учебное пособие



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Инженерно-технологическая академия

**С. М. ГУШАНСКИЙ**  
**В. С. ПОТАПОВ**

**ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА  
КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ**

*Учебное пособие*

Ростов-на-Дону – Таганрог  
Издательство Южного федерального университета  
2023

УДК 004.38

ББК 32.973

Г753

*Печатается по решению кафедры вычислительной техники Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета (протокол № 6 от 23 января 2021 г.)*

**Рецензенты:**

доктор физико-математических наук, профессор *Г. В. Куповых*

доктор технических наук, профессор *В. И. Божич*

**Гушанский, С. М.**

Г753 Теория и практика квантовых вычислений : учебное пособие / С. М. Гушанский, В. С. Потапов ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2023. – 111 с.

ISBN 978-5-9275-4312-0

Учебное пособие посвящено основам теории построения квантовых компьютеров. В ней рассмотрены физико-технические принципы построения современных квантовых вычислителей. Рассмотрена реализация широкого плана квантовых алгоритмов, предназначенных для реализации самых разнообразных задач науки и техники. Пособие может быть полезно специалистам, работающим в области информационных технологий и вычислительной техники, а также студентам и аспирантам, обучающимся по этим специальностям.

УДК 004.38

ББК 32.973

ISBN 978-5-9275-4312-0

© Южный федеральный университет, 2023

© Гушанский С. М., Потапов В. С., 2023

© Оформление. Макет. Издательство

Южного федерального университета, 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
Кубиты и квантовая память .....	8
Запутанность.....	10
Суперпозиция .....	11
Обратимые вычисления .....	12
Обозначение дирака, гильбертовы пространства .....	15
Унитарная эволюция.....	16
<b>ТЕМА 1. ИСТОРИЯ ТЕОРИИ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ</b> .....	18
1.1. Квантовая модель схемы.....	21
Квантовые гейты .....	23
Выполнение измерений с помощью квантовых схем .....	26
Применение квантовой телепортации .....	31
ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ .....	37
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	38
<b>ТЕМА 2. МЕТОДЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ КВАНТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ</b> .....	40
2.1. Чистые и смешанные состояния .....	40
ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ .....	47
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	47
<b>ТЕМА 3. ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ КВАНТОВОГО КОМПЬЮТЕРА</b> .....	49
ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ .....	51
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	52
<b>ТЕМА 4. КВАНТОВЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ВЕНТИЛИ (ГЕЙТЫ)</b> .....	53
4.1. Логические однокубитовые гейты.....	53
4.2. Контролируемые квантовые гейты.....	56
ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ .....	62

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ .....	63
<b>ТЕМА 5. МОДЕЛИРОВАНИЕ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ</b> .....	<b>65</b>
5.1. Квантовый параллелизм .....	67
ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ.....	70
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ .....	71
<b>ТЕМА 6. КВАНТОВЫЕ АЛГОРИТМЫ</b> .....	<b>73</b>
6.1. Алгоритм факторизации Шора .....	73
6.2. Алгоритм Гровера .....	74
ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ.....	76
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ .....	76
<b>ТЕМА 7. КВАНТОВОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ</b> .....	<b>78</b>
ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ.....	83
<b>ТЕМА 8. IBM QUANTUM EXPERIENCE</b> .....	<b>86</b>
8.1. Композитор цепи .....	89
8.2. Как работает полусумма .....	92
8.3. Суперпозиция на практике .....	92
8.4. Работа с нейронными сетями .....	95
OpflowQNN.....	95
TwoLayerQNN .....	97
CircuitQNN .....	98
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	<b>102</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	<b>103</b>