



В. Ф. Гузик, С. М. Гушанский  
Е. В. Ляпунцова, В. С. Потапов

# Высокопроизводительные вычислительные системы и квантовая обработка информации

учебное пособие



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-технологическая академия

**ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ  
И КВАНТОВАЯ ОБРАБОТКА  
ИНФОРМАЦИИ**

*Учебное пособие*

Ростов-на-Дону – Таганрог  
Издательство Южного федерального университета  
2021

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*

**Гузик, В. Ф.**

Г753 Высокопроизводительные вычислительные системы и квантовая обработка информации : учебное пособие / В. Ф. Гузик, С. М. Гушанский, Е. В. Ляпунцова, В. С. Потапов ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2021. – 202 с.

ISBN 978-5-9275-3787-7

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 978-5-9275-3787-7

© Южный федеральный университет, 2021

© Гузик В. Ф., Гушанский С. М.,

Ляпунцова Е. В., Потапов В. С., 2021

© Оформление. Макет. Издательство

Южного федерального университета, 2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ И СИСТЕМЫ .....	7
1.1. Аналоговые вычислительные машины .....	8
1.2. Цифровые интегрирующие машины .....	21
1.3. Цифровые вычислительные машины .....	38
1.4. Нейрокомпьютеры .....	42
1.5. Суперкомпьютеры .....	63
1.6. Квантовые компьютеры .....	85
2. ВВЕДЕНИЕ В КВАНТОВУЮ ИНФОРМАТИКУ .....	98
2.1. Необратимые и обратимые классические информационные процессы .....	98
2.2. Единицы измерения информационной энтропии .....	99
2.3. Условная энтропия .....	100
2.4. Взаимная энтропия .....	101
2.5. Основные понятия квантовой теории информации .....	102
2.6. Формализм квантовых вычислений .....	102
2.7. Квантовый параллелизм .....	107
2.8. Чистые и смешанные квантовые состояния .....	108
2.9. Матрица плотности .....	115
2.10. Меры запутанности .....	116
2.11. Мера запутанности чистого квантового состояния .....	117
2.12. Смешанные запутанные состояния .....	118
2.13. Состояния Вернера .....	119
Контрольные вопросы .....	122
3. КВАНТОВЫЕ АЛГОРИТМЫ. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ .....	124
3.1. Фазовая оценка .....	126
3.2. Фазовый откат .....	128
3.3. Классы сложности .....	132
3.4. Описание алгоритмов .....	132

Контрольные вопросы .....	166
4. АРХИТЕКТУРА И МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И СИМУЛЯТОРОВ .....	168
4.1. Достижения и перспективы разработки и исследования модели квантового вычислителя .....	171
4.2. Обзор квантовых симуляторов .....	172
4.3. Сравнение моделей квантовых вычислителей .....	179
Контрольные вопросы .....	191
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	192
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	194