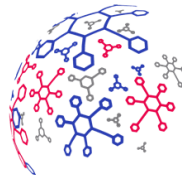




Тверской
государственный
университет

Математический
факультет



Направление 02.04.01 Математика и Компьютерные науки
Профиль «Математическое и компьютерное моделирование»

Алешин Дмитрий Алексеевич

ВАРИАЦИОННЫЙ КВАНТОВЫЙ АЛГОРИТМ С ОПТИМИЗАЦИЕЙ МЕТОДОМ ОТЖИГА

Научный руководитель: д. ф.-м. н. А. Н. Цирулёв

Тверь 2025



Цель: Разработка вариационного квантово-классического алгоритма оптимизации.

Задачи:

- Анализ коммутационных свойств операторов Паули
- Построение параметризованного анзаца
- Реализация алгоритма имитации отжига



1. Широкое исследовательское внимание

- Вариационные квантовые алгоритмы — активно развиваемая область (многочисленные публикации и научные группы)

2. Научная и прикладная ценность

- Математически обоснованный подход
- Перспективы для квантового превосходства в оптимизации и химии



Разложение гамильтониана:

$$\hat{H} = \sum_{i,j,k} h_{ijk} \hat{\sigma}_i \otimes \hat{\sigma}_j \otimes \hat{\sigma}_k$$

Свойства операторов:

- Антicomмутация: $\{\sigma_i, \sigma_j\} = 2\delta_{ij}I$
- Композиция: $\hat{\sigma}_K \hat{\sigma}_L = i^\omega (-1)^m \hat{\sigma}_M$



$$E(\theta) = \psi(\theta) \hat{H} \psi(\theta)$$

$$\psi(\theta) = \prod_k e^{i\theta_k \hat{\sigma}_k} 0^{\otimes n}$$

Проблема – локальные минимумы в энергетическом ландшафте.



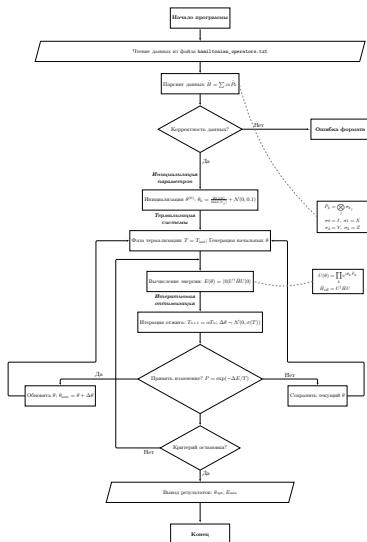
- Имитация физического процесса отжига
- Адаптивное управление температурой:

$$T(t) = T_0 \cdot \alpha^t$$

- Вероятность перехода:

$$P(\Delta E) = \exp \left(-\frac{\Delta E}{k_B T} \right)$$

Блок-схема алгоритма





1. Инициализация случайных параметров θ_0
2. Вычисление энергии $E(\theta_i)$
3. Генерация соседнего решения θ'
4. Критерий Метрополиса
5. Адаптация температуры
6. Повтор до сходимости



В работе получены следующие основные результаты:

- Разработан вариационный квантовый алгоритм с оптимизацией метода отжига
- Доказана устойчивость к локальным минимумам
- Реализована модель на Python



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ