

УДК 004.27

**Разработка альтернативной модели квантовых вычислений на основе клеточных автоматов**

**Курилова А.И.** (ФТШ им Ж.И.Алфёрова), **Данильянц Д.С.** (Аничков лицей), **Федаев А. В.** (ЧОУ Ювента)

**Научный руководитель – кандидат технических наук, Глазов Д.А., студент ИТМО, Осипцов М.М.** (ИТМО)

**Введение.** Современные квантовые вычисления имеют ряд недостатков, связанных с масштабируемостью, декогеренцией, сложностью контроля взаимодействия кубитов между собой. Квантовые клеточные автоматы (QCA) являются перспективным методом решения этих проблем.

Архитектура на основе QCA более приспособлена к применению автоматического исправления ошибок в виду своей модульной структуры<sup>[5]</sup>: кубиты взаимодействуют только с ближайшими соседями по фиксированным правилам, которые одинаковы на каждом шаге выполнения программы. Блочность упрощает отладку логики выполнения программы, позволяя сфокусировать внимание на каждой компоненте по отдельности.

В перспективе, эти свойства могут оказаться ключевыми для преодоления существующих на данный момент ограничений квантовых вычислений.

**Основная часть.** Чтобы воспользоваться преимуществами квантовых клеточных автоматов, необходимо показать эквивалентность этого подхода уже рассмотренным в литературе способам реализации квантовых вычислений — это бы позволило достичь давно известных примеров «квантового превосходства» над классическими вычислениями при большей масштабируемости и стабильности. Такое доказательство распадается на две группы задач:

1. Создание квантового клеточного автомата, воспроизводящего основные элементы вычислений, способного воспроизводить квантовые алгоритмы.
  - a. Кодирование логических кубитов как группы клеток квантового клеточного автомата. Интерпретация входных и выходных состояний поля.
  - b. Формулировка правил, воспроизводящих поведение основных логических вентилей (CNOT, вентили Адамара и Паули).
  - c. Реализация наиболее известных квантовых алгоритмов — алгоритма Шора и Гровера.
2. Эффективная симуляция квантовых клеточных автоматов с использованием классических компьютеров.
  - a. Написание программы для генерации унитарных операторов эволюции квантового клеточного автомата из набора правил (как классических, так и прямо использующих квантовую запутанность).
  - b. Прототипирование эффективной системы хранения квантовых состояний и применения к ним операторов эволюции с учётом «локальности» правил QCA.
  - c. Применение методов параллельного программирования для ускорения работы симуляции в случае большого размера клеточного автомата.

Задачи первой группы относятся к реализации предыдущих достижений квантовых вычислений при помощи QCA, а задачи второй группы, прежде всего, служат для демонстрации корректности сформулированных алгоритмов и облегчения работы с ними.

В ходе проделанной работы были успешно реализованы CNOT, вентили Адамара и Паули. Для уменьшения размеров системы в клеточный автомат по аналогии с оптическими метаматериалами внедрена «метаклетка» — особая клетка, подчиняющаяся изменённому правилу. Это позволило работать с сетками меньших масштабов. Успешно написана программа, симулирующая работу квантового клеточного автомата, с её помощью проверена корректность сформулированных правил. Начата реализация алгоритмов Шора и Гровера по составленному ранее плану. Рассмотрены возможности автоматического исправления ошибок в ходе квантовых вычислений.

**Выводы.** Архитектура на основе QCA способна выполнять основные квантовые вычисления, что продемонстрировано на примере основных логических вентилях. Их использование позволит приблизить применение квантовых алгоритмов в практических задачах, продвинет решение проблем нестабильности и декогеренции квантовых компьютеров.

#### **Список использованных источников:**

1. Nielsen, M. A., & Chuang, I. L. Quantum Computation and Quantum Information. — Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
2. Schumacher B., Westmoreland M. Quantum Processes, Systems, and Information. — Cambridge: Cambridge University Press, 2010.
3. Arrighi P. An introduction to quantum cellular automata // Natural Computing. — 2020. — Vol. 19. — P. 1–20.
4. Arrighi P., Grattage J. The quantum game of life // Physics World. – 2012. – Vol. 25, № 6. – P. 23.
5. Arrighi P., Fargetton R., Wang Z. Intrinsically universal one-dimensional quantum cellular automata in two flavours // Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical. — 2009. — Vol. 42, № 35. — P. 355302.
6. Zhang Y., Wang C. Quantum Cellular Automata: A New Paradigm for Quantum Information Processing // Nature Reviews Physics. — 2017. — Т. 1, № 2. — С. 132–143.