



Нижегородский государственный университет  
им. Н.И.Лобачевского

*Институт Информационных Технологий, Математики и Механики*

# Экспериментальное наблюдение свойств квантового компьютера как открытой квантовой системы

П. Е. Ведруков, Д. С. Куландин, А. В. Линев, И.  
Б. Мееров, С. Денисов

Москва, 26-27 сентября, RSCD-2022

# Содержание

- Методика проведения эксперимента
- Структура квантовых схем
- Результаты экспериментов
- Выводы



# Постановка задачи

Требуется восстановить динамические параметры системы кубитов при выполнении следующих предположений и ограничений:

- система кубитов является диссипативной квантовой системой, описываемой уравнением Линдблада:

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho = -i[H, \rho] + \sum_{\alpha, \beta=1}^{N^2-1} K_{\beta\alpha} \left( F_{\alpha} \rho F_{\beta}^{\dagger} - \frac{1}{2} \{ F_{\beta}^{\dagger} F_{\alpha}, \rho \} \right),$$

где  $\rho(t)$  – матрица плотности,  $\{F_{\alpha}\}$  – каналы диссипации;

- диссипация, вызванная ошибкой однокубитного гейта  $U(\theta, \varphi, \lambda)$ , локальна, т.е. воздействует только на целевой кубит и никак не влияет на остальные;
- при использовании однокубитных гейтов множество  $\{F_{\alpha}\}$  включает только операторы, действующие на один кубит:  $F_1 = I \otimes I \otimes \dots \otimes X, F_2 = I \otimes I \otimes \dots \otimes Y, \dots, F_{3n} = Z \otimes I \otimes \dots \otimes I$ .

Мы предполагаем, что при указанных ограничениях возможно восстановление части собственных значений оператора Лиувилля по измерениям наблюдаемых.

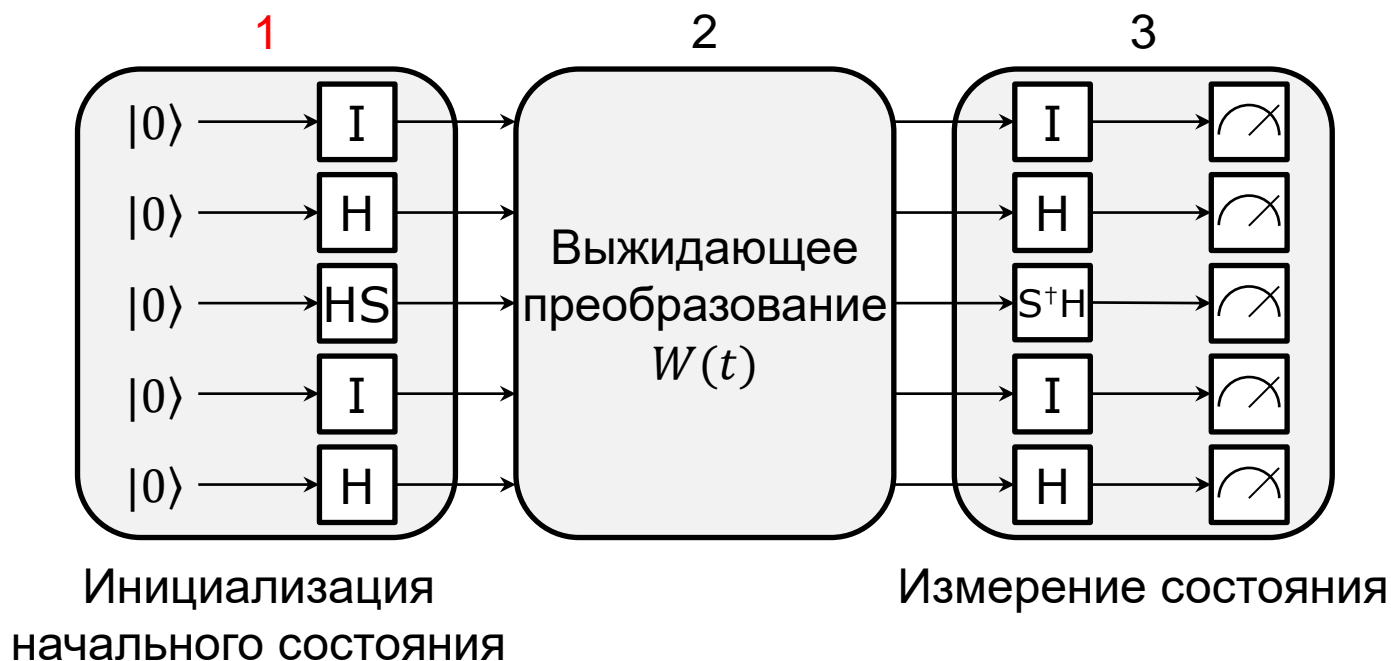


# Методика проведения эксперимента

- Построение квантовых схем для выжидающего преобразования различной глубины и их выполнение на квантовом компьютере
- Формирование сигнала по измерениям для наблюдаемой  $O^{(k)}(t): Tr(\rho_0 O^{(k)}(t)), t \in [0, T]$
- Представление сигнала в виде суммы гармонических колебаний из частотного диапазона  $Tr(\rho_0 O^{(k)}(t)) = \sum_n c_n e^{\lambda_n t}$

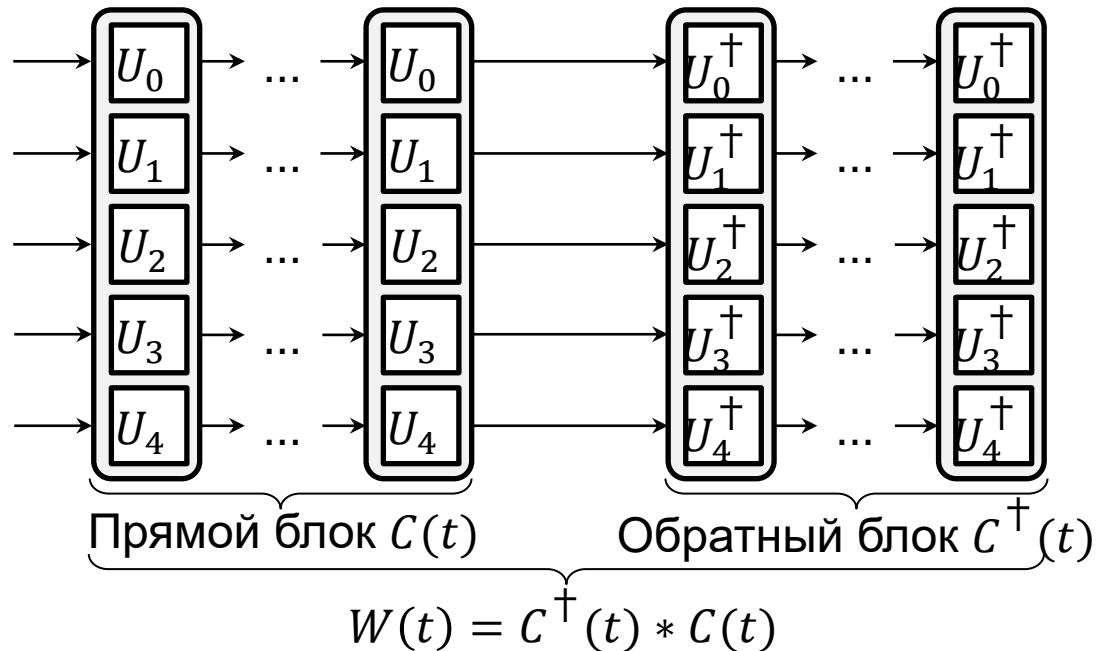


# Структура квантовых схем



1. Перевод системы кубитов в состояние  $|\sigma^{l_n} \dots \sigma^{l_2} \sigma^{l_1}\rangle$ , где каждый кубит находится в каком-либо локальном базисе  $l_j \in \{x, y, z, I\}$

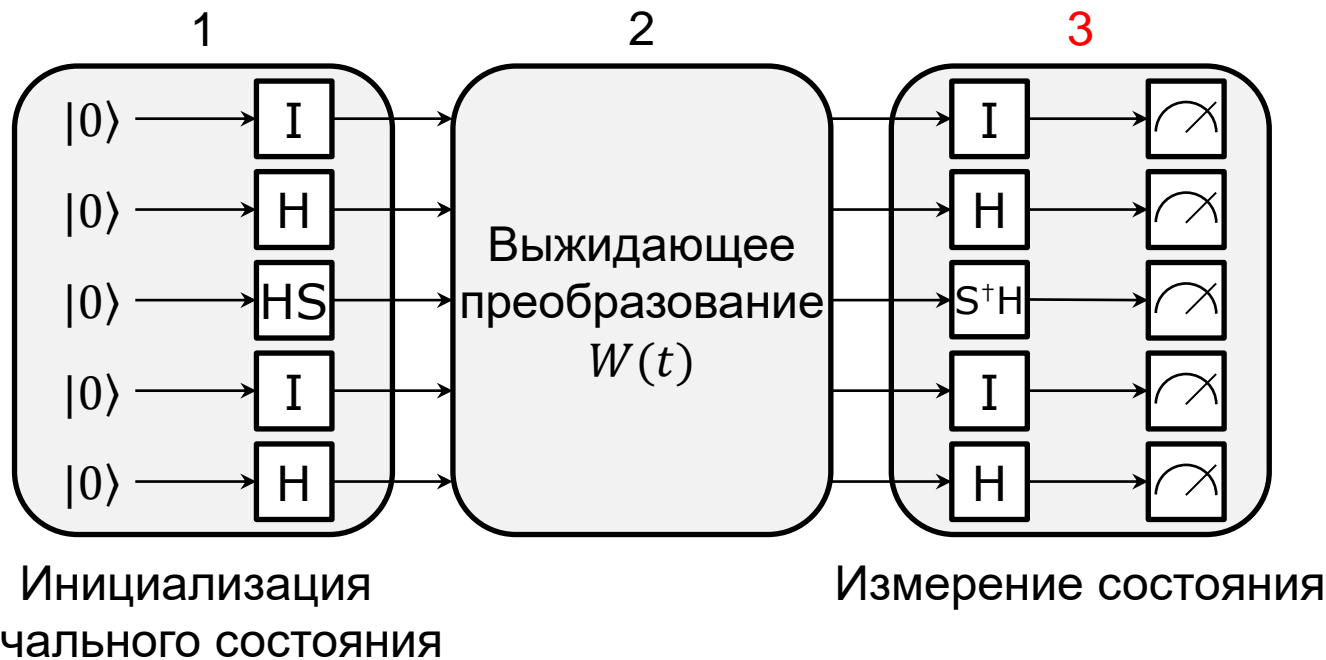
# Структура квантовых схем



2. Выжидающее тождественное преобразование состоит из прямого и обратного диссипативных блоков. Используется оператор  $U(\theta, \varphi, \lambda)$ , где  $\theta, \varphi, \lambda$  – случайные параметры, обозначающие углы вращения на сфере Блоха

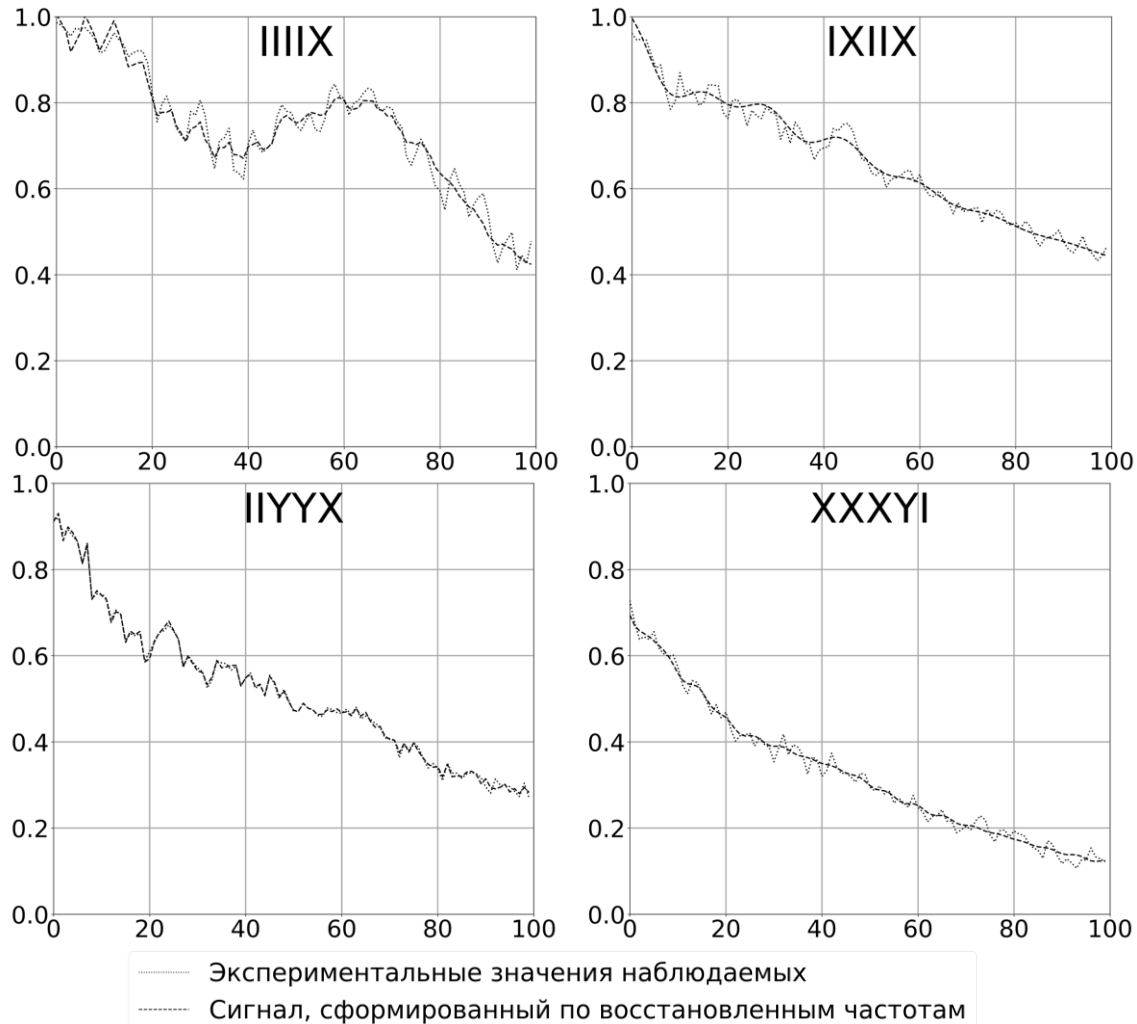


# Структура квантовых схем



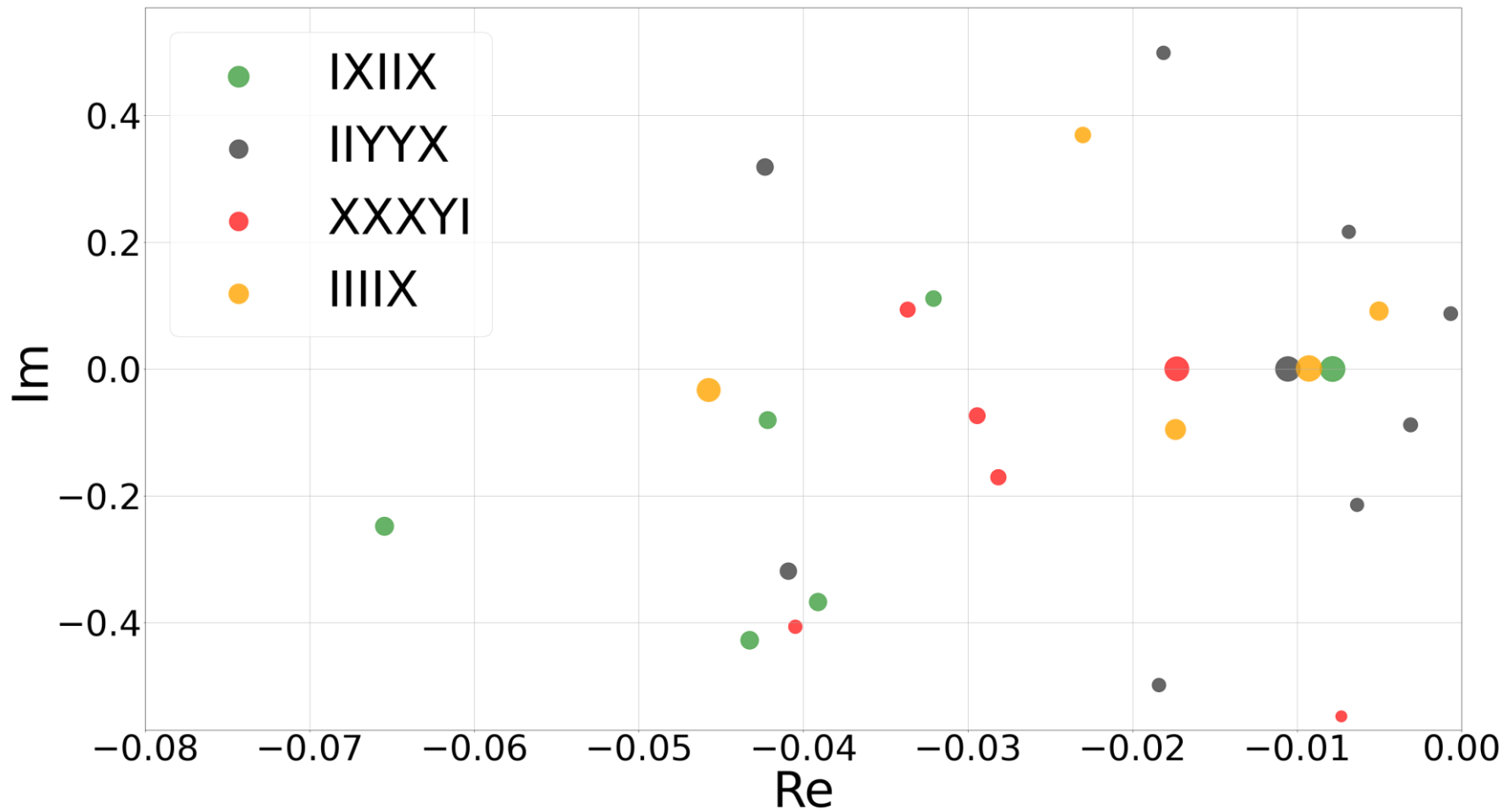
3. Поворот каждого кубита в соответствии с его начальным локальным базисом и измерение состояния системы. При многократном повторении эксперимента статистика результатов измерений позволяет вычислить значение наблюдаемой  $Tr(\rho_0 O^{(k)}(t)) = \sum_{i=0}^{2^n-1} p_i \lambda_i$

# Зависимость средних значений наблюдаемых IIIIX, IXIIX, IIYYX, XXXYI от глубины диссипативного блока квантовой схемы





# Собственные значения восстановленных сигналов, диаметры кругов пропорциональны $|c_n|$



# Заключение

- Выполнены эксперименты для  $n=5$ ,  $T=100$  и набора сочетаний локальных базисов с разным порядком локальности. Для каждой квантовой схемы выполнялось 20 000 запусков (измерений). Запуск квантовых схем производился на 5-кубитном квантовом компьютере IBM `ibmq_belem`
- Полученные результаты качественно соответствуют результатам, представленным в других работах по данной теме
- Согласно [1], множество всех собственных чисел восстановленных сигналов может сформировать диаграмму, качественно сходную с полным спектром лиувиллиана квантовой системы. Дальнейшие исследования позволят проверить это утверждение экспериментально



# Контакты и благодарности

- Ведруков Павел Евгеньевич  
([pavelvedrukov@mail.ru](mailto:pavelvedrukov@mail.ru))
- Линев Алексей Владимирович  
([alin@unn.ru](mailto:alin@unn.ru))
- Работа выполнена при поддержке научно-образовательного математического центра «Математика технологий будущего»

