**Квантовые и гибридные алгоритмы для задачи сейсмической инверсии**

***Еременко А.М.***

*Аспирант 1-го года*

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,*
*физический факультет, Москва, Россия*

*E-mail:* *eremenko.am18@physics.msu.ru*

Исследование посвящено теоретической разработке и программной реализации алгоритмов решения масштабных задач инверсии сейсмический данных на современных гибридных (квантово-классических) и квантово-инспирированных отжигателях на примере одномерной и двумерной задач в выбранной модели среды. Задача оптимизации функционала невязки наблюдаемых и синтетических данных преобразуется в задачу QUBO более вычислительно удобной размерности, и затем решается на симуляторе.

Эмуляцию квантовых компьютеров вентильного типа ограничивает экспоненциальный рост объемов необходимой оперативной памяти с ростом количества кубитов – добавление каждого нового кубита приводит к ее двухкратному увеличению, в то же время гибридные квантово-классические и квантово-инспирированные отжигатели уже сейчас могут работать с достаточно большим количеством бинарных переменных. Эта возможность позволяет использовать отжигатели при решении некоторых прикладных задач оптимизации [2].

Математической спецификой отжигателей является то, что они предназначены для решения лишь одного типа задач – задач QUBO (Quadratic Unconstrained Binary Optimization). Задача QUBO – это задача определения координат глобального минимума квадратичной формы от бинарных переменных

$Н(q\_{1},q\_{2} , …,q\_{N} ) = α\_{00} +\sum\_{i=1}^{N}\sum\_{j\geq i}^{N}α\_{ij}q\_{i}q\_{j}$,

где $q\_{1},q\_{2} , …,q\_{N}$ – бинарные переменные, принимающие значения 0 или 1, а $α\_{ij}$ – действительные коэффициенты.

Большое количество практически интересных задач оптимизации могут быть сведены к задачам QUBO эффективно, т.е. с хорошей масштабируемостью. Задачами параметризации сложных моделей являются и задачи инверсии сейсмических данных – реконструкции структуры и состава геологических пород по данным измерений отраженных сейсмических волн. За последние несколько лет в научной литературе появилось уже некоторое количество публикаций, посвященных изучению возможности использования отжигателей для решения различных вариантов задач инверсии сейсмических данных [3, 4].

Рассматривается задача определения акустических импедансов слоев и времени прохождения в них сигнала при наличии априорной информации об оцениваемых параметрах, задаваемой функциями произвольного вида. Определение искомых параметров производится из анализа спектров, испускаемого источником и поглощаемого детектором сигналов, ортогональных к границам раздела слоев. Эта информация используется впоследствии и для расчёта двумерной задачи [1].

Математическая модель одномерной задачи строится в приближении плоских волн, линейной теории упругости, малых коэффициентов отражения и пренебрегая потерями на прохождение и кратные отражения. Без учета априорной информации о параметрах слоев, заданных произвольными функциями, такая постановка задачи и ее решение классическими вычислительными методами известны давно и не представляют интереса. Наличие же априорной информации, заданной произвольными функциями, существенно увеличивает вычислительную сложность такой задачи. В этом случае решение задачи сейсмической инверсии сводится к задаче оптимизации существенно нелинейной многомерной функции, и представляется органичным попытаться использовать для ее решения квантовый отжигатель. В работе представлены результаты численных расчётов на симуляторах, в соответствии с представленными моделями.

**Литература**

1. Maletin N., Eremenko A., Minaev D. An algorithm for solving a 1D seismic data inversion problem on quantum or digital annealers in the presence of a priori information on layer parameters specified by arbitrary functions. Laser Physics Letters. (2024). 22. 015201. 10.1088/1612-202X/ad914c.

2. Yarkoni S. et al. Quantum Annealing for Industry Applications: Introduction and Review // Reports on Progress in Physics. 2022. Volume 85, Number 10, p.104001

3. Souza А. et al. 2022. An Application of Quantum Annealing Computing to Seismic Inversion. <https://doi.org/10.3389/fphy.2021.748285>

4. Wang S., Liu C., Li P., Chen C. and Song C. 2024. Stable and efficient seismic impedance inversion using quantum annealing with L1 norm regularization, Journal of Geophysics and Engineering, Volume 21, Issue 1, February 2024, Pages 330-343. https://doi.org/10.1093/jge/gxae003