

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СПЕКТРА НЕЙТРОНОВ

Чижов К.А.¹, Чижов А.В., Борщев Д.С.¹, Акимочкина М.А.¹

Объединенный институт ядерных исследований, Россия, 141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри 6, Тел. +7(49621)6-40-19, E-mail: kchizhov@jinr.ru

¹Государственный университет «Дубна», Россия, 141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Университетская 19.

При обработке результатов физического эксперимента часто возникает задача восстановления искомой функции (Φ) по полученным измерениям (b). В дискретной форме связь между Φ и b описывается системой линейных алгебраических уравнений $b = A\Phi + \varepsilon$, где A – матрица чувствительности прибора, ε – вектор погрешностей измерений. Задача является некорректно поставленной (по Адамару) вследствие плохой обусловленности A и наличия шума ε . В работе представлен сравнительный анализ методов решения таких задач на примере восстановления спектра нейтронов для многошарового спектрометра Боннера из системы интегральных уравнений Фредгольма 1-го рода [1]. Нами в виде компьютерной программы реализованы итерационные методы (Качмажа, Гаусса-Ньютона и сопряженных градиентов), эволюционный алгоритм [2] с ограничением на неотрицательность искомого спектра; итерационный алгоритм, основанный на теореме Байеса со сплайн-регуляризацией [3]; метод максимизации ожидания максимального правдоподобия; алгоритм семплирования методом Монте-Карло с использованием цепей Маркова [4]; метод регуляризации Тихонова [1], для которого минимизация сглаживающего функционала (включающего невязку и стабилизирующий функционал) проводится алгоритмами выпуклой оптимизации. Разработанные методы могут быть применены для нейтронной дозиметрии на высокоэнергетических ядерных установках и ускорителях заряженных частиц.

Литература

1. Chizhov K., Beskrovnaya L., Chizhov A. Neutron Spectra Unfolding from Bonner Spectrometer Readings by the Regularization Method Using the Legendre Polynomials // *Phys. Part. Nuclei* **55**, 2024. Стр. 532–534.
2. Bourbeau J., Hampel-Arias Z. PyUnfold: A Python package for iterative unfolding // *Journal of Open Source Software*, **3**, 26, 2018. Стр. 741.
3. Salvatier J., Wiecki T.V., Fonnesbeck C. Probabilistic programming in Python using PyMC3 // *PeerJ Computer Science*, **2**, e55, 2016.
4. Fortin F. et al. DEAP: Evolutionary algorithms made easy // *The Journal of Machine Learning Research* **13**, 1, 2012. Стр. 2171-2175.