

## Отзыв

на диссертацию на соискание ученой степени

доктора физико-математических наук Шимелевича Михаила Ильича

по теме: «Решение обратных задач геоэлектрики с применением нейронных сетей и оценкой неоднозначности»

по специальности 1.6.9 - Геофизика

Диссертационная работа М.И. Шимелевича посвящена разработке и применению методов нейрокомпьютинга для решения обратных *нелинейных* задач геоэлектрики. В случае нелинейности общего типа, когда множество существования содержит много локальных экстремумов и задача не сводится к варианту выпуклого программирования, такие задачи плохо формализуемы в контексте традиционных вычислительных схем. Здесь стандартные численные методы теряют свойства обобщения, а изменение входных данных не «обновляет» полученного решения, а, напротив, приводит к необходимости решать совсем иную задачу. Паллиативной может служить идея «банка» опорных решений, предложенная еще А.Н. Тихоновым и развитая, в так называемом, палеточном методе. Как раз здесь очень полезными оказались аппроксиматоры, построенные с помощью искусственных нейронных сетей (ИНС) и предварительно обученные с учителем (Supervised learning), на банке опорных решений альбома палеток. Действительно, давно известно (см., например, Kreinovich V.Y.// Neural Networks, 1991, 4, 381-383), что ИНС является универсальным аппроксиматором в широком классе непрерывных функций. Однако, универсальность еще не гарантирует их оптимальности: веса нейронов всегда ограничены на практике да и статистическое обучение ИНС по конечной выборке, само по себе, является *il posed* задачей (Vapnik V. N. Statistical Learning Theory. NY, 1998). Именно поэтому столь необходимым становится соответствующий математический «интерфейс», способный корректным образом обосновать компромисс между возможностями ИНС и особенностями реальных обратных задач геоэлектрики. По этим причинам практическая актуальность выбранной темы исследований соискателя не вызывает никаких сомнений.

Судя по автореферату, М.И. Шимелевич, развивает *новые подходы* к регуляризации решаемой нелинейной обратной задачи в контексте ее устойчивости. При построении нейросети, помимо типовых преобразований данных, соискатель вводит специальные дополнительные преобразования, позволяющие редактировать специфику решаемой задачи. В частности, учитывая свойства квазистационарного ЭМ поля в геоэлектрике, - быстрое затухание с глубиной, - автор строит набор «независимых» локальных нейросетей (ИНС аппроксиматоров), устанавливающих связь различных групп данных с группами параметров, определяющими свойства среды на различных глубинах. Замечу сразу, что этот вариант требует большой осторожности, связанной с операционным определением

независимости, хотя он и обеспечивает «физичность» предлагаемой автором технологии *инверсии* в практических приложениях. Используя *многокритериальные* подходы, соискатель указывает способы оптимизации архитектуры используемых ИНС, позволяющие подавлять влияния неизвестной *фоновой среды*, уменьшать неоднозначность задачи обучения и увеличивать способности сетей к обобщению. Итогом упомянутых методов является *специализированная авторская многокомпонентная нейросеть* сверточного типа, максимально адаптированная к особенностям решаемой задачи, в некотором разумном смысле.

Принципы, заложенные автором в построение нейросети, позволяют минимизировать ошибку ее обучения, что, в конечном итоге повышает эффективность развиваемого ИС метода решения обратных задач геоэлектрики. Этот результат подтверждается приводимыми в работе примерами работы ИНС на модельных и полевых данных. Для получаемых решений обратных задач на основе разработанных автором алгоритмов вычисляются апостериорные оценки практической неоднозначности, обусловленные наличием погрешности в данных.

Практические преимущества нейросетевых подходов, такие как высокая скорость вычислений, отсутствие необходимости решать сложную нелинейную обратную задачу каждый раз заново для обновленных измеренных данных, а также простота в практическом использовании делают развиваемый метод эффективным в задачах интерпретации измеренных данных и доступным для широкого круга пользователей. Важно заметить, что ИНС способны обрабатывать данные в режиме реального времени. Этот факт особенно важен в сейсмоактивных регионах, при решении обратных задач мониторинга, практически в режиме реального времени.

На основе текста автореферата приведу некоторые Замечания по работе:

1. В работе не приводятся результатов сравнения возможности увеличения обучающей выборки на основе использования современных технологий, позволяющих избежать дополнительных ресурсоемких расчетов множества опорных решений (методы аугментации, генерации дополнительных синтетических данных методом клонирования и др.)
2. В работе не приводятся четких рецептов для выбора архитектуры ИНС и методики их обучения. Но эти характеристики могут повлиять на стабильность работы модели даже на воспроизводимость результатов. Так, например, методы «глубокого обучения» могут быть вообще лишены свойств однозначности ответа (Alfke D. et al. The Oracle of DLphi //arXiv preprint arXiv:1901.05744. 2019).
3. Для практических приложений важна не только доказанная соискателем эффективность предложенных схем, но и их ограничения: указания границ

корректной применимости. Я не увидел в автореферате обсуждения этого вопроса, но возможно он есть в диссертации. Замечу, что некоторые важные моменты из этой области обсуждаются в недавней монографии: Tarkhov D., Vasilyev A. *Semi-empirical neural network modeling and digital twins development*. Acad. Press, 2019

Сделанные замечания не умаляют общей оценки работы по автореферату. В целом, работа Михаила Ильича Шимелевича демонстрирует успешное применение современных методов машинного обучения и нейросетевых технологий для решения задач геоэлектрики. Вклад автора в развитие и совершенствование методов интерпретации геофизических данных несомненно заслуживает высокой оценки. С учетом новизны, значимости и практической ценности результатов, считаю, что соискатель Михаил Ильич Шимелевич заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.6.9 — Геофизика.

**Макаренко Николай Григорьевич**

Доктор физико-математических наук, заведующий Сектором математического моделирования нелинейных процессов в гелиогеофизике Главной (Пулковской) астрономической обсерватории Российской академии наук.

Адрес:

196140, Россия, Санкт-Петербург, Пулковское шоссе, д. 65

Контактные данные:

Телефон: +7 (812) 363-7040

E-mail:

Подпись

\_\_\_\_\_ Дата: 25.11.2024

Подпись д.ф.-м.н. Николая Григорьевича Макаренко удостоверяю.

Ученый секретарь ГАО РАН к.-ф.-м.н. Барсунова О.Ю.

\_\_\_\_\_ 28.11.2024

