

ОТЗЫВ
НА АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК
ШИМЕЛЕВИЧА МИХАИЛА ИЛЬИЧА
НА ТЕМУ: «РЕШЕНИЕ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ГЕОЭЛЕКТРИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ
НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И ОЦЕНКОЙ НЕОДНОЗНАЧНОСТИ»
ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ 1.6.9 - ГЕОФИЗИКА

Диссертационная работа Михаила Ильича Шимелевича на тему «Решение обратных задач геоэлектрики с применением нейронных сетей и оценкой неоднозначности» представляет собой существенный вклад в развитие методов математического и информационного моделирования и их применения в области геоэлектрики. В своей работе автор успешно применяет современные методы решения некорректных задач в сочетании с технологией нейросетевого моделирования. На их основе автор развивает частные модификации этих методов с учетом физических особенностей решаемой задачи геоэлектрики, среди которых основной является быстрое поглощение в земле квазистационарного электромагнитного поля, применяемого в геоэлектрике. Физичность подхода, успешное сочетание современных нейросетевых методов с классическими подходами обеспечивают научную и практическую значимость развиваемых в работе технологий, а использование в полной мере современных вычислительных мощностей для их реализации отражает актуальность работы.

Основными конкретными достижениями работы являются следующие:

- автором проведена декомпозиция задачи и даны специального типа локальные априорные и апостериорные оценки, определяющие практическую неоднозначность приближенных решений нелинейных обратных задач геоэлектрики дифференцированно по глубине исследований (по ярусам сетки параметризации), установлена количественная зависимость данных оценок от поярусной размерности сетки параметризации, доказаны соответствующие теоремы;
- на основе локальных априорных оценок неоднозначности автором разработан метод адаптивной регуляризации задачи, который позволяет выделить максимально широкое множество корректности при ограничении на неоднозначность решений, доказано существование оптимальной сетки параметризации, реализующей этот принцип на практике;
- разработаны численные методы и алгоритмы расчета упомянутых выше локальных характеристик неоднозначности на основе алгоритмов Монте-Карло, доказана сходимость алгоритмов;
- разработана оригинальная версия регуляризирующего нейросетевого метода, адаптированного к физике обратной задачи геоэлектрики, основанная на построении локальных нейросетевых аппроксиматоров, устанавливающих связь группы параметров среды с соответствующим набором измеренных данных; доказано существование аппроксиматора с минимальной собственной ошибкой; при построении локальных аппроксиматоров применяются современные методы глубокого обучения (DL);
- численно показано, что применение локальных аппроксиматоров более эффективно (по точности и ресурсоемкости), чем инверсия на основе использования полных векторов параметров модели и измеренных данных;

- предлагаемая технология позволяет локально решать обратную нелинейную задачу геоэлектрики большой размерности в классе кусочно-постоянных сред единообразно для достаточно широкого класса правых частей без задания начального приближения; время решения с помощью обученного аппроксиматора составляет первые десятки секунд и практически не зависит от геометрической размерности задачи.

Характеризуя работу в целом, хочу отметить, что автор целенаправленно и математически корректно использует физические принципы для построения нейросетевых моделей, что обеспечивает эффективность развиваемых методов. Следует отметить также, что используемый автором подход при построении нейросетевых моделей типа локальных аппроксиматоров представляет собой разновидность классического метода декомпозиции, при котором из общей сложной задачи выделяются более простые задачи, и затем получаемые решения этих задач синтезируются в решение исходной полной задачи. Автор выбирает нейросетевой базис (перцептроны) и настраивает его параметры. Указывается и архитектура нейросети. В последнее время в нейросетевых методах развивается направление, связанное с построением нейросетевых аппроксиматоров, основанных на физических законах, – так называемые «физически информированные нейронные сети – PINN». Работа автора является убедительным примером реализации PINN – парадигмы на практике.

Практическая значимость развиваемого нейросетевого подхода обусловлена прежде всего простотой применения метода: от пользователя не требуется специальной квалификации, метод может применяться в полевых условиях в режиме реального времени (в том числе и для решения задач электромагнитного мониторинга в сейсмоактивных зонах).

Замечания к работе:

1. В работе недостаточно полно представлено обоснование выбора типа и архитектуры нейронных сетей и их гиперпараметров, таких как количество слоев и нейронов сети и др., что можно было бы сделать с помощью метаэвристических алгоритмов. Это несомненно затрудняет воспроизводимость и трансфер результатов, возможность решения серии задач.
2. Использование метода Монте-Карло естественно было бы дополнить иными методами настройки нейросетевого базиса, например, методами глобальной оптимизации функционала (или набора функционалов), характеризующего качество модели.
3. Интересным было бы рассмотрение параметрических задач с неточно (например, интервально) заданными параметрами и построение соответствующих нейросетевых решений, для которых параметры были входами сетей.
4. Было бы полезно рассмотреть методы интерпретации нейросетевых решений, такие как анализ важности входных данных или визуализация характеристик сети, чтобы сделать результаты более понятными для широкой аудитории.

Значимость научного исследования определяется не только полученными результатами, но и теми перспективами и возможностями, что раскрываются перед ученым. Сделанные замечания скорее носят характер пожеланий и рекомендаций соискателю для будущих исследований.

Автореферат, очень подробный, отражает содержание диссертации.

Заключение: Диссертационная работа Михаила Ильича Шимелевича отличается научной новизной и практической значимостью. Результаты работы позволяют существенно расширить границы применимости численных методов и решить ряд проблем, связанных с многомерностью и сложностью некорректных нелинейных геоэлектрических задач. Несмотря на высказанные замечания, работа представляет собой значимый вклад в область математического обеспечения задач электроразведки и заслуживает высокой оценки.

В связи с этим считаю, что Михаил Ильич Шимелевич заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.6.9 – Геофизика.

Васильев Александр Николаевич

Доктор технических наук, кандидат физико-математических наук,
профессор кафедры высшей математики

Место работы:

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Институт Физики и Математики

Адрес:

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, Главный учебный корпус, ауд. 125

Контактные данные:

Телефон: +7 (812) 552-67-50

E-mail: a.n.vasilyev@spbstu.ru

Подпись: _____

Дата: 27/05-2024 _____

Подпись Васильева А.Н. удостоверяю:

