

Развитие метода оценки параметров конструкции скважины по данным магнитно-импульсной дефектоскопии с использованием искусственных нейронных сетей

Ямолдин А.А. (Казанский федеральный университет, институт физики)

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Масленникова Ю.С.

(Казанский федеральный университет, институт физики)

Работа посвящена развитию метода оценки параметров конструкции скважины с использованием искусственных нейронных сетей. Для анализа используются данные скважинной магнитной дефектоскопии и модель откликов, спроектированная на основе уравнений Максвелла. В результате применения нейронных сетей удалось добиться повышения быстродействия при оценке интервалов значений физических параметров конструкции скважины в 3000 раз.

Магнитно-импульсная дефектоскопия является одним из распространенных геофизических методов анализа технического состояния скважин, оценки целостности конструкции скважины и выявления мест коррозии как в эксплуатационных, так в и технических колоннах. Принцип работы магнитно-импульсного дефектоскопа основан на анализе параметров нестационарного магнитного поля, возникающего под воздействием мощных электромагнитных импульсов, генерируемых дефектоскопом. Известно, что намагниченность металла уменьшается во времени тем быстрее, чем меньше металла было намагничено, таким образом по крутизне кривой спада электромагнитного отклика можно численно определить толщину металлических стенок конструкции скважины. Один из подходов, используемых в нефтесервисной компании ООО «ТГТ-Сервис» (г. Казань), основан на сопоставлении реальных откликов с модельными, полученным на основе решения систем уравнений Максвелла. Однако помимо толщины, форма регистрируемого электромагнитного отклика зависит также от физических параметров металла (электропроводность и магнитная проницаемость), таким образом, подбор всех параметров и оценка толщины с использованием модельных функций является крайне затратным по времени процессом. Поэтому развитие методов оценки физических параметров металла с целью сокращения времени на обработку и интерпретацию данных магнитной дефектоскопии является крайне актуальной задачей. В настоящей работе предложен подход для оценки физических параметров скважинных конструкций, таких как толщина внешней стенки, электропроводность и магнитная проницаемость, с помощью искусственных нейронных сетей.

Проектирование нейросетевой модели производилось на примере данных импульсного магнитного дефектоскопа Pulse-3E, разработанного в компании ООО «ТГТ-Сервис». Pulse-3E представляет собой скважинный цилиндрический прибор, внутри которого концентрически вокруг сердечника расположены две катушки: генерирующая и приёмная. Прибор Pulse-3E помещают в скважину, затем медленно (со скоростью около 4 м/мин) перемещают по скважине, во время исследования скважины генерируются и записываются последовательно спады намагниченности. Для разработки и тестирования нейронной сети были использованы так называемые модельные данные, полученными посредством работы функции, моделирующей отклики прибора Pulse-3E. Нейросетевая модель представляет собой пятислойную сеть прямого распространения с функцией потерь в виде среднеквадратичной ошибки и методом оптимизации Адам с динамически изменяющейся скоростью обучения. Для нахождения диапазона электромагнитных параметров на основе уже обученной нейросети был составлен функционал от двух электромагнитных параметров: электропроводности и магнитной проницаемости. Данный функционал представляет собой функцию двух переменных: линейную комбинацию

расстояния между зафиксированными электромагнитными параметрами и возможного их диапазона значений и взвешенной среднеквадратической ошибкой между откликами для этих пар электромагнитных параметров. При расчете функционала получаем нелинейную овражную поверхность имеющую ложбину - минимум функционала, характеризующий диапазон электромагнитных параметров для данного отклика. Для нахождения минимума функционала мы использовали градиентные методы оптимизации.

При использовании разработанного нейросетевого подхода удалось получить выигрыш во времени при моделировании откликов дефектоскопа в 3000 раз, пропорционально сокращая время на решение обратной задачи - поиска физических параметров, соответствующих данному отклику дефектоскопа. Этот результат позволяет говорить о том, что в будущем возможно внедрение технологии оценки физических параметров скважинных конструкций непосредственно на нефтегазовом месторождении на нересурсоёмких аппаратах, что существенно сократит стоимость использования данного метода, в связи с чем увеличит спрос на эту технологию и, возможно, привлечет потенциально новую целевую аудиторию из других сфер.

Прохождение по минимуму функционала позволяет получить набор новых решений для разных пар электромагнитных параметров при малом отличии откликов дефектоскопа, что является интересной задачей уточнения полученных значений. Анализ этой проблемы будет произведен в дальнейших исследованиях.