Б ОПРЕДЕЛЕНИИ ПЕРЕХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КАТОДНО-ПОЛЯРИЗУЕМОГО МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА ПО ДАННЫМ МАГНИТОМЕТРИИ

@ В.Н. Кризский, С.В. Викторов, Я.А. Лунтовская

krizsky@rambler.ru, s.v.viktorov@strbsu.ru, yanaluntovskaya@yandex.ru

УДК 519.688

DOI: 10.33184/mnkuomsh2t-2021-10-06.81.

Рассмотрена математическая модель обратной задачи определения переходного сопротивления на границе "грунт/труба" по данным измерений модуля вектора магнитной индукции постоянного магнитного поля, возбуждаемого системой катодной электрохимической защиты трубопровода.

Ключевые слова: Слоистое полупространство, катодная электрохимическая защита магистрального трубопровода, математическое моделирование электрических и магнитных полей, обратная задача определения переходного сопротивления по данным магнитометрии.

On the definition of transition resistance cathode-polarized main pipeline according to magnetometry data

The mathematical inverse problem of determining the transient resistance from the measurement data of the modulus of the vector induction of a constant magnetic field, excited by the system of cathodic electrochemical protection of the pipeline, is considered.

Keywords: Layered half-space, cathodic electrochemical protection of the main pipeline, mathematical modeling of electric and magnetic fields, the inverse problem of determining the transient resistance according to magnetometry data.

Для защиты трубопроводных магистралей от коррозии в системах катодной электрохимической защиты необходим мониторинг их состояния, который традиционно осуществляется на основе измерения электрического поля методом выносного электрода на поверхности грунта над трубопроводом. Разработка интеллектуальных роботизированных магнитометрических измерительных комплексов и систем на основе беспилотных летательных аппаратов позволяет осуществлять замеры в воздухе над трассой, что открывает перспективы для повышения эффективности мониторинга (увеличение скорости получения измерительных данных, сокращение финансовых затрат).

Кризский Владимир Николаевич, д.ф.-м.н., профессор, СПГУ (Санкт-Петербург, Россия);

Викторов Сергей Владимирович, к.ф.-м.н., доцент, СФ БашГУ (Стерлитамак, Россия);

Лунтовская Яна Алексеевна, аспирант, СПГУ (Санкт-Петербург, Россия);

В работе рассматривается математическая модель определения переходного сопротивления изоляции трубопровода по данным магнитометрии в воздухе над трассой трубопровода. Математическая модель представляет собой обратную задачу математической физики, в которой искомой функцией является коэффициентная функция граничного условия третьего рода на границе "грунт/труба". Математические модели, алгоритмы и программы решения прямых [1–4] и обратных задач систем катодной защиты, наряду с моделями процессов гидродинамики, деформации грунта и др., могут формировать аналитическое ядро цифрового двойника магистральных трубопроводов.

Для поиска решения обратной задачи – функции переходного сопротивления изоляционного покрытия трубы ($c_{gt}(s)$) – применен вариационный метод академика А.Н.Тихонова, согласно которому искомое решение ищется как минимум регуляризирующего функционала

$$F^\alpha(c_{gt}(s)) = F_1(c_{gt}(s)) + \alpha F_2(c_{gt}(s)) =$$

$$= \left\| |B(r_0, c_{gt}(s))| - |B^{UAV}(r_0, c_{gt}(s))| \right\|_{L_2(V_{UAV})}^2 + \alpha \left\| c_{gt}(s) - c_{gt}^0(s) \right\|_{K(V_t(s))}^2$$

где $F_1(c_{gt}) = \left\| |B(r_0, c_{gt})| - |B^{UAV}(r_0, c_{gt})| \right\|_{L_2(V_{UAV})}^2$ – функционал невязки; $|B^{UAV}(r_0, c_{gt})|$ – модуль измеренного вектора магнитной индукции; $|B(r_0, c_{gt})|$ – моделируемый модуль вектора магнитной индукции, полученный в результате вычисления прямой задачи; $F_2(c_{gt}) = \left\| c_{gt}(s) - c_{gt}^0(s) \right\|_{K(V_t(s))}^2$ – регуляризирующий функционал, $c_{gt}^0(s)$ – априори известное переходное сопротивление изоляции вдоль трубы (полученное, например, по данным предыдущего мониторинга трассы с учетом старения изоляции за время, прошедшее между мониторингами); $c_{gt}(s)$ – искомая функция переходного сопротивления изоляционного покрытия трубы; α – параметр регуляризации; V_{UAV} – траектория движения датчиков магнитометрической системы в воздухе, L_2 – пространство интегрируемых с квадратом функций, определенных на кривой V_{UAV} . В качестве множества функций $K(V_t(s))$ рассматривается компактное множество ограниченных кусочно-постоянных функций, на котором существует единственное квазирешение дискретизированной обратной задачи.

Проведенные вычислительные эксперименты показывают, что в классе предложенных математических моделей функция переходного сопротивления на границе "грунт/труба отражающая состояние изоляционного покрытия трубопровода, может быть найдена. Полученные результаты компьютерных экспериментов позволяют оценить влияние уровня

шума в исходных данных и высоты перемещения датчиков магнитометрической системы в воздухе на результаты вычислений.

Литература

1. *Кризский В.Н., Александров П.Н., Ковальский А.А., Викторов С.В.* Моделирование электромагнитных полей систем катодной защиты магистральных трубопроводов в горизонтально-слоистых средах // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2019. Т.9, №5. С. 558-567.

2. *Кризский В.Н., Александров П.Н., Ковальский А.А., Викторов С.В.* Математическое моделирование электрических полей катодной защиты магистральных трубопроводов в анизотропных средах // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2020. Т.10, №1. С. 52-63.

3. *Кризский В.Н., Викторов С.В.* Расчет электрических и магнитных полей катодной защиты магистрального трубопровода в горизонтально-слоистой среде // Федеральная служба по интеллектуальной собственности (РосПатент). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU 2019619307, 02.07.2019 г.

4. *Кризский В.Н., Викторов С.В.* Программный комплекс решения прямой задачи рассеивания электромагнитных полей в системах катодной защиты магистральных трубопроводов // Федеральная служба по интеллектуальной собственности (РосПатент). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021661274, 08.07.2021 г.