Секция В. Физика атмосферы Земли, включая околоземное космическое пространство. БШФФ-2024. С. 160–162.

УДК 533.852.3 DOI: 10.62955/0135-3748-2024-160

ВЛИЯНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ НА ТРУБОПРОВОДЫ В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ

Д.В. Костарев[1], В.А. Пилипенко[2,3], О.В. Козырева[2,3]

1Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия,
kostarev@iszf.irk.ru
[2]Геофизический центр Российской академии наук, Москва, Россия
[3]Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта Российской академии наук, Москва, Россия

IMPACT OF SPACE WEATHER ON PIPELINES IN HIGH-LATITUDE REGIONS

D.V. Kostarev[1], V.A. Pilipenko[2,3], O.V. Kozyreva[2,3]

1Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia,
kostarev@iszf.irk.ru
2Geophysical Center of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
3Schmidt Institute of Physics of the Earth of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Аннотация. При организации систем катодной защиты трубопроводов необходимо иметь возможность рассчитывать вариации потенциала «труба – земля» при геомагнитных возмущениях. С этой целью авторами разработан программный код для расчета потенциала трубопровода при заданном возмущении электротеллурического поля в поверхностных слоях Земли. В качестве примера проведены оценки искажения потенциала «почва – труба» при суббуре, имевшей место 9 октября 2018 г. Использована база данных магнитных станций в Российской Арктике и глобальная модель проводимости поверхностных слоев Земли. Возмущение теллурического поля построено с помощью пересчета зарегистрированного магнитного возмущения в амплитуду теллурического поля по импедансному соотношению. Модельная трубопроводная сеть представлена в виде набора эквивалентных схем замещения, которые объединяются между собой для формирования узловой сети проводимости. При помощи метода узловой матрицы полной проводимости определены значения потенциала в узлах трубопроводной системы.

Ключевые слова: катодная защита, потенциал «труба – земля», геомагнитные пульсации, геоиндуцированные токи

Abstract. When organizing cathodic protection systems for pipelines, it is necessary to be able to calculate variations in the “pipe-ground” potential during geomagnetic disturbances. For this purpose, the authors have developed a software code for calculating the pipeline potential for a given disturbance of the electrotelluric field in the surface layers of the Earth. As an example, the distortion of the «soil-pipe» potential was assessed during the substorm that took place on October 9, 2018. A database of magnetic stations in the Russian Arctic and a global model of the conductivity of the Earth’s surface layers were used. The telluric field disturbance is constructed by recalculating the recorded magnetic disturbance into the telluric field amplitude using the impedance relationship. The model pipeline network is presented in the form of a set of equivalent equivalent circuits, which are combined with each other to form a nodal conductivity network. Using the nodal admittance matrix method, the potential values at the nodes of the pipeline system were determined.

Keywords: cathodic protection, pipe-to-soil potential, geomagnetic pulsations, geoinduced currents

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее значимых факторов космической погоды являются геоиндуцированные токи (ГИТ) в технологических проводящих заземленных системах, вызываемые резкими изменениями геомагнитного поля $d\mathrm{B}/dt$ (см. обширную литературу в обзоре [Пилипенко, 2021]). Во многих странах ведутся исследования по влиянию ГИТ на энергетические системы, включающие линии электропередачи (ЛЭП) и высоковольтные трансформаторы. Помимо негативных воздействий на энергетические системы, геомагнитные возмущения и связанные с ними вариации геоэлектрического поля создают колебания потенциала «почва– труба» (ППТ), способные выводить напряжение трубопровода из безопасного диапазона защиты от электрокоррозии (обычно катодная защита подпитывает отрицательный потенциал около 2 В). При нарушениях катодной защиты в трубопроводах усиливается коррозия в точках заземления или повреждения изоляции, выходят из строя электронные системы контроля. Эти проблемы особенно актуальны для высокоширотных центров газонефтедобычи и транспортировки (арктический шельф, Ямал), где геомагнитные возмущения наиболее интенсивны.

Таким образом, влияние явлений, обусловленных магнитосферными возмущениями (бурь, суббурь и геомагнитных пульсаций), необходимо учитывать при организации системы катодной защиты трубопроводов. Возможные вариации ППТ в условиях геомагнитных возмущений можно оценить исходя из карты амплитуд возбуждаемых теллурических полей в поверхностных слоях Земли и модельных расчетов индукции в заземленном проводнике, как это предложено в [Lehtinen, Pirjola, 1985; Boteler, 2013]. Следуя этому подходу, авторами данной работы разработан программный код для расчета потенциала модельного трубопровода с определенной конфигурацией при заданном возмущении электротеллурического поля. В качестве примера применения численного метода рассмотрена суббуря, имевшая место 9 октября 2018 г. Оценка теллурического поля проведена путем пересчета магнитного возмущения, зарегистрированного на магнитных станциях в Российской Арктике, в амплитуду теллурического поля с учетом данных о структуре проводимости земной коры.

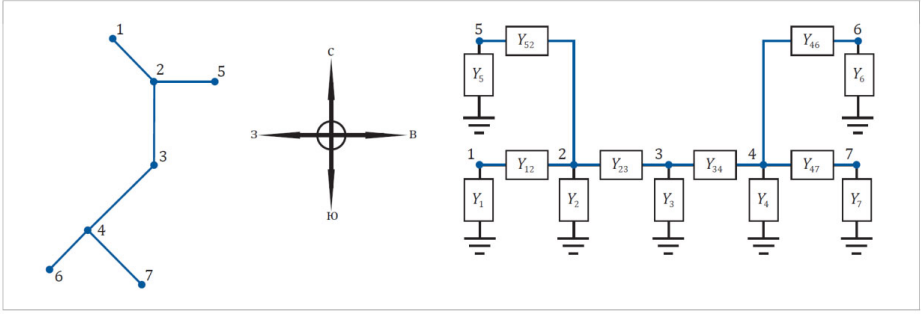

Рис. 1. Схема модельного трубопровода, где каждое соединение определяется как узел сети: магистральный трубопровод проходит от узла 1 до узла 4 и имеет ответвления от узла 2 до узла 5 и от узла 4 до узлов 6 и 7

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА «ПОЧВА – ТРУБА» С ПРИМЕНЕНИЕМ П-ОБРАЗНЫХ СХЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ

В силу значительной протяженности и сложной топологии трубопроводной системы ее участки могут существенно различаться параметрами проводимости как подстилающей поверхности, так и самого трубопровода (ответвления могут иметь меньший относительно основной трубы диаметр, возможны разные варианты электрохимической защиты и т. д.). Для расчета наведенного потенциала между трубой и грунтом в конкретной точке должна приниматься во внимание вся трубопроводная сеть. Поэтому сложную трубопроводную систему удобно представить в виде набора эквивалентных схем замещения, объединенных между собой в узловую электрическую цепь. Такая цепь состоит из соединений между узлами и соединений с землей от каждого узла. Затем, используя метод узловой матрицы полной проводимости, определяют значения ППТ в любой точке моделируемой трубопроводной сети. При этом потенциалы в узлах ищутся как решение системы линейных уравнений, полученных для каждого узла цепи на основании закона Ома и правил Кирхгофа [Boteler, 2013].

ПРИМЕР РАСЧЕТА ВАРИАЦИИ ПОТЕНЦИАЛА «ПОЧВА – ТРУБА»

Схема модельного трубопровода представлена на рис. 1. Каждое соединение или изгиб на схеме определяется как узел сети. Магистральный трубопровод проходит от узла 1 до узла 4 и имеет ответвления от узла 2 до узла 5 и от узла 4 до узлов 6 и 7. Участок 2–3 направлен вдоль линии север – юг, ответвление 2–5 ориентировано с запада на восток. Остальные участки расположены под углом 45°. Длины участков L_{ik} между узлами i и k равны: L_{12} = 50 км, L_{23} = 100 км, L_{34} = 120 км, L_{25} = 50 км, L_{46} = 40 км, L_{47} = 80 км. Диаметр и толщина стенки приняты: основной трубы – $D_м$ = 762 мм и $\delta_м$ = 15,6 мм, ответвлений – $D_в$ = 381 мм и $\delta_в$ = 10 мм, соответственно. Удельное сопротивление трубной стали считали равным ρ = 0,18·10–3 Ом/км, проводимость покрытия C = 5·10–6 См/м2.

Рассмотрим отклик модельного трубопровода на суббурю. Изолированная суббуря началась 9 октября 2018 г. в ~15 UT и закончилась в тот же день в ~19 UT (рис.2). Рассмотрим регион вблизи станции Диксон (DIK). Синтезированное по данным магнитных вариаций (x, y компоненты) теллурическое поле (Ex, Ey компоненты) в районе станции DIK показано на рис.3. Для моделирования использованы данные магнитной обсерватории DIK и модель проводимости в области обсерватории.

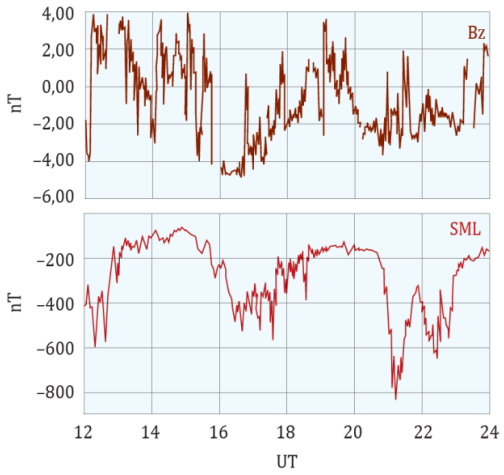

Рис. 2. Межпланетное магнитное поле Bz, SME-индекс в период 09.10.2018, 12–24 UT

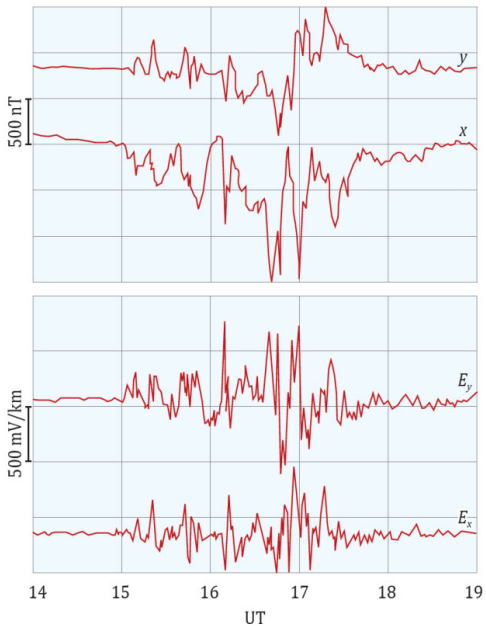

Рис. 3. Вариации горизонтальных компонент магнитного поля x, y на станции DIK и синтезированное по данным магнитных вариаций теллурическое поле Ex, Ey для периода 09.10.2018, 14–19 UT

С использованием вариаций теллурического поля в качестве входного параметра по изложенной выше методике были рассчитаны вариации ППТ *V* в различных узлах модельного трубопровода (Рис.4). Установлено, что максимальный размах осцилляций потенциала в узлах трубопровода меняется от ~10 до ~100 В. Отметим, что модельный расчет дает несколько завышенные значения из-за выбранного большого сопротивления изоляции и пренебрежения реальным заземлением.

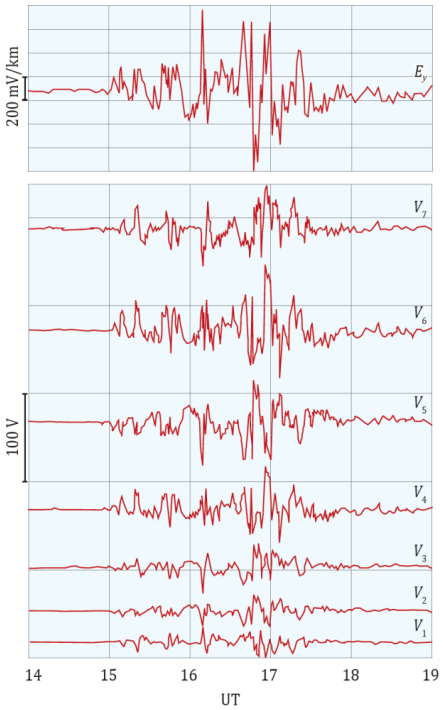

Рис. 4. Вариации теллурического поля *Ey* на станции DIK и вызванные ими вариации ППТ модельного трубопровода в узлах 1–7

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе авторы хотели продемонстрировать, что имеется как экспериментальная база, так и расчетные методики для количественной оценки вероятности риска выхода трубопровода из режима защиты от электрокоррозии. Детальной информации о трубопроводных системах в открытом доступе нет, поэтому приведенные в работе расчеты являются приближенной оценкой. Для дальнейшего развития метода моделирования необходимы более точные сведения о характеристиках трубопроводов и сравнение полученных модельных результатов с изменениями ППТ на реальных трубопроводах. Основная цель настоящей статьи состоит в том, чтобы привлечь внимание к проблеме влияния космической погоды на безопасность трубопроводных систем и начать диалог геофизиков со специалистами нефтегазовой отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Пилипенко В. А. Воздействие космической погоды на наземные технологические системы // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 3. С. 72–110.

Lehtinen M., Pirjola R. Currents produced in earthed conductor networks by geomagnetically induced electric fields // Annales Geophysicae. 1985. V. 3. P. 479–484.

Boteler D. H. A new versatile method for modelling geomagnetic induction in pipelines // Geophysical Journal International. 2013. V. 193. P. 98–109.