

На правах рукописи

ФУРКИН АЛЕКСЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИК ИДЕНТИФИКАЦИИ И
ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ ИСТОЧНИКОВ БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ,
ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ НА МАГИСТРАЛЬНЫЕ
НЕФТЕГАЗОПРОВОДЫ

Специальность 25.00.19 – Строительство и эксплуатация
нефтегазопроводов, баз и хранилищ

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ухта – 2012

Диссертация выполнена
в Ухтинском государственном техническом университете

Научный руководитель: доктор технических наук
Руслан Викторович Агиней

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор
Владимир Орович Некучаев

кандидат технических наук
Эрнест Владимирович Бурдинский

Ведущая организация: ОАО «Гипрогазцентр»,
г. Нижний Новгород

Защита состоится 22 марта 2012 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.291.02 при Ухтинском государственном техническом университете по адресу: 169300, г. Ухта, Республика Коми, ул. Первомайская, 13.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ухтинского государственного технического университета.

Автореферат разослан 20 февраля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, профессор

Н.М. Уляшева

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Коррозионный износ стенок магистральных трубопроводов, транспортирующих углеводороды, является основным фактором, снижающим их надежность и ресурс. Для подземных трубопроводов характерна электрохимическая коррозия наружной поверхности труб.

Особую опасность представляет электрохимическая коррозия, вызванная воздействием блуждающих токов. Вследствие высокой плотности коррозионного тока, сквозное разрушение стенок трубопроводов в этих условиях может развиваться в течение 2-3 лет.

Существующие методики поиска, локализации и оценки опасности источников блуждающих токов (далее – БТ), воздействующих на трубопроводные системы, разработаны специалистами ОАО «ВНИИСТ», ОАО «Гипроспецгаз» и ООО «Газпром ВНИИГАЗ» и ориентированы на антропогенные источники блуждающих токов, основные из которых – электрифицированные железные дороги и системы передачи тока «линия-грунт». Однако методики, адаптированные к неклассическим источникам БТ природного характера, не разработаны, несмотря на то, что такие источники отмечены в России (нефтепровод «Восточная Сибирь – Тихий океан», газопровод «Пунга-Вуктыл»), а также за рубежом, в частности, в Бразилии, Канаде, Белоруссии.

Под действием неклассического источника БТ изменение потенциала «труба-земля» может происходить без токообмена между грунтом и трубой, что предопределяет необходимость разработки комплексного подхода по идентификации, оценке опасности источников БТ, а также регулированию режимов работы средств катодной защиты, на основе результатов лабораторных, полупромышленных и полевых испытаний.

Работа базируется на результатах научных работ многих отечественных и зарубежных ученых и исследователей, среди которых: Е.А. Беляев, Г.Г. Винокурцев, В.И. Глазков, Н.П. Глазов, А.Г. Гумеров, Н.П. Жук, Д.Н. Запевалов, А.М. Зиневич, О.М. Иванцов, А.М. Керимов, Ф.М. Мустафин, В.В. Николаев, Н.А. Петров, А.Е. Полозов, В.В. Притула, В.Н. Протасов, И.В. Стрижевский, Д.К. Томлянович, Ф.К. Фатрахманов, К.Л. Шамшетдинов, А.И. Яблучанский, W.V. Baeckmann, R. Browseau, N. Kioupiis, K. Maroulis, W. Schwenk, R.N. Parkins и др.

Цель работы: Совершенствование методик идентификации и оценки опасности блуждающих токов, воздействующих на магистральные нефтегазопроводы.

Задачи исследования:

- Усовершенствовать комплекс методик для поиска и оценки опасности БТ.
- Выполнить анализ источника блуждающих токов на участке магистрального газопровода «Пунга – Вуктыл» на основе результатов электроизмерений.
- Провести лабораторные и полупромышленные испытания влияния протекающего по модели трубопровода тока на потенциал «труба - земля».
- Разработать комплекс практических рекомендаций по идентификации, оценке опасности и защите трубопроводов, подверженных влиянию неклассических источников блуждающих токов.

Научная новизна:

1) Впервые предложено классифицировать источники блуждающих токов, по наличию токообмена между трубопроводом и грунтом, который они вызывают.

2) Экспериментально установлено, что зависимость потенциала «труба-земля» $U_{Т-З}$ от силы тока I , протекающего по трубопроводу без токообмена, описывается выражением общего вида: $U_{Т-З} = U_{ст} + kI$, где $U_{ст}$ - стационарный потенциал трубопровода относительно м.с.э. в данной точке, В; k – параметр, численно равный 0,012 Ом для модели трубопровода диаметром 25 мм с толщиной стенки 3 мм и 0,23 Ом для трубопровода диаметром 530 мм и толщиной стенки 8 мм (при $I \in [-1; 7]$ А).

3) Впервые предложено и научно обосновано использовать в качестве критерия единства источника блуждающего тока, коэффициент корреляции между массивами данных синхронных измерений потенциала «труба-земля» на различных нитках коридора магистрального нефтегазопровода в одном сечении и в различных сечениях участка трубопровода.

4) Установлено, что приращения потенциала «труба-земля», создаваемые моделью станции катодной защиты и протекающим по трубе током I , не зависят друг от друга и действуют на суммарный потенциал «труба-земля» аддитивно.

Защищаемые положения:

- усовершенствованная методика локализации источника блуждающего тока, основанная на построении векторных диаграмм падения напряжения в грунте с

учетом его электрического сопротивления грунта в месте измерения позволяет повысить точность определения местоположения источника БТ;

- вывод, основанный на результатах лабораторных и полупромышленных исследований, о том, что протекание электрического постоянного тока по трубопроводу вызывает смещение потенциала «труба-земля» без токообмена между трубой и грунтом;

- разработанный порядок регулирования режимов работы средств электрохимической защиты (далее – ЭХЗ) в условиях действия источника блуждающего тока, работающего без токообмена позволяет повысить эффективность защиты нефтегазопровода от коррозии с условиях действия БТ;

- идентификационными признаками источника блуждающего тока, работающего без токообмена являются единство источника блуждающего тока, отсутствие точек «натекания – стекания», отсутствие в электрическом сигнале «труба-земля» переменной составляющей, кратной промышленным частотам.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций определяется применением современных электроизмерительных приборов и программных средств, корректностью лабораторных моделей трубопроводов по соответствию коррозионно-активной среды, измерительных электродов, типа корродирующего материала, согласованностью результатов лабораторных исследований с результатами, полученными на полупромышленном стенде и на действующем газопроводе.

Практическая ценность работы заключается в разработке алгоритма автоматизированной настройки средств ЭХЗ участка нефтегазопроводов, работающего в условиях действия неклассического источника БТ. Внедрение этой системы позволит устанавливать потенциалы трубопровода в рамках, регламентируемых нормативными документами, что обеспечит эффективную работу систем защиты от коррозии и снизит расход электроэнергии, потребляемой станциями защиты, за счет оптимизации их выходных параметров, повысит срок службы средств защиты. Алгоритм реализован на системе электрохимической защиты трубопроводов Сосногорского линейно-производственного управления ООО «Газпром трансгаз Ухта».

По материалам исследований получен патент на изобретение РФ 2352688, опубл. 20.04.2009 г. «Устройство для измерения поляризационного потенциала

трубопровода», поданы заявки на изобретения РФ: № 2011134224, опублик. 15.08.2011 г. «Способ определения местоположения источника блуждающего тока» и №2008122670, опублик. 10.12.2009 г. «Способ определения коррозионной поврежденности поверхности», что свидетельствует о новизне и промышленной применимости полученных в работе результатов.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на: 7-ой Всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов по проблемам газовой промышленности «Новые технологии в газовой промышленности», г. Москва, РГУНиГ им. Губкина И.М., 28-30 сентября 2007 г.; Всероссийской научно-технической конференции «Нефть и газ Западной Сибири», г. Тюмень, ТюмГНГУ, 2007 г.; 14-ой Международной конференции по трубопроводному транспорту, г. Санкт-Петербург, 2008 г.; XV научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы развития газовой промышленности Западной Сибири – 2008», ООО «ТюменьНИИгазпрогаз», г. Тюмень, 2008 г.; Конференциях сотрудников и преподавателей УГТУ, г. Ухта, 2007, 2009, 2010, 2011 гг.; Международной конференции «Актуальные вопросы противокоррозионной защиты» (РАСР-2009), г. Москва, ООО «Газпром ВНИИГАЗ», 2009 г.; 3-й Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы трубопроводного транспорта Западной Сибири», ТюмГНГУ, г. Тюмень, 2009 г.; Пятой международной конференции «Обслуживание и ремонт газонефтепроводов», ДАО «Оргэнергогаз», г. Туапсе, 2010 г.; 7-й Международной научно-технической конференции «Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта», ПГУ, Новополоцк, Белоруссия, 2011 г.; Международной деловой встрече «Диагностика 2011», ДАО «Оргэнергогаз», г. Геленджик, 2011 г.; Международной учебно-научно-практической конференции «Трубопроводный транспорт – 2011», УГНТУ, Уфа, 2011 г.; Международной конференции «Газотранспортные системы: настоящее и будущее» (GTS-2011), ООО «Газпром ВНИИГАЗ», г. Москва, 2011 г., Межрегиональном семинаре «Рассохинские чтения», УГТУ, г. Ухта, 2012 г.

Публикации: по теме диссертации опубликовано 24 работы, из них 6 - в ведущих рецензируемых изданиях, включенных в Перечень ВАК Минобрнауки РФ.

Структура и объем работы: диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, содержит 145 страниц текста, 68 рисунков, 25 таблиц и список литературы из 110 наименований.

Содержание работы

Во введении обоснованы актуальность и значимость выбранной темы, степень ее разработанности, охарактеризованы научно-методические пути ее решения.

В первой главе «**Анализ существующих методов обеспечения надежности трубопроводов в условиях действия блуждающих токов**» показано, что известные источники БТ можно разделить на две группы: техногенного и природного характера (рисунок 1). При этом часть источников БТ действует без прямого токообмена между металлом трубопровода и грунтом, как правило, за счет явления электромагнитной индукции. В частности, в работах А.И. Яблчанского приведены методики оценки опасности влияния и устранения негативного воздействия высоковольтных линий электропередач.

Наиболее изучены техногенные источники БТ, связанные с работой электрифицированных железных дорог и линий передачи тока по грунту. Поэтому методики поиска, оценки опасности наиболее полно разработаны именно для этой группы источников. Среди методов защиты от действия таких источников БТ наибольшее распространение получили различные виды электродренажных устройств, электроизолирующие фланцы трубопроводов, автоматизированные средства электрохимической защиты (ЭХЗ).



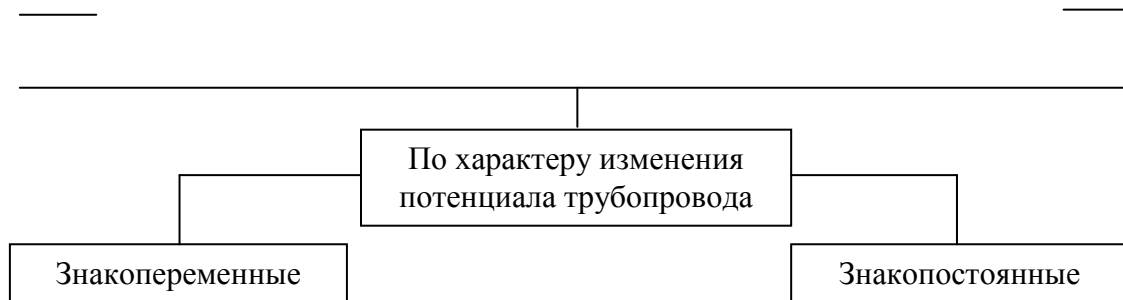


Рисунок 1 – Классификация источников блуждающих токов

На ряде участков магистральных нефтегазопроводов, построенных вдали от населенных пунктов и промышленных объектов, обнаруживается действие источники БТ природного характера. Анализ показал, что выявить участки работы таких источников при предпроектном обследовании трассы не представляется возможным. Методик оценки опасности блуждающих токов, регулирования действующих средств ЭХЗ не разработано.

Во второй главе **«Совершенствование комплекса методик для локализации и оценки опасности блуждающих токов на многониточные нефтегазопроводы»** разработан общий алгоритм поиска и устранения действия источников блуждающих токов, заключающийся в последовательной реализации трассовых измерений (рисунок 2).

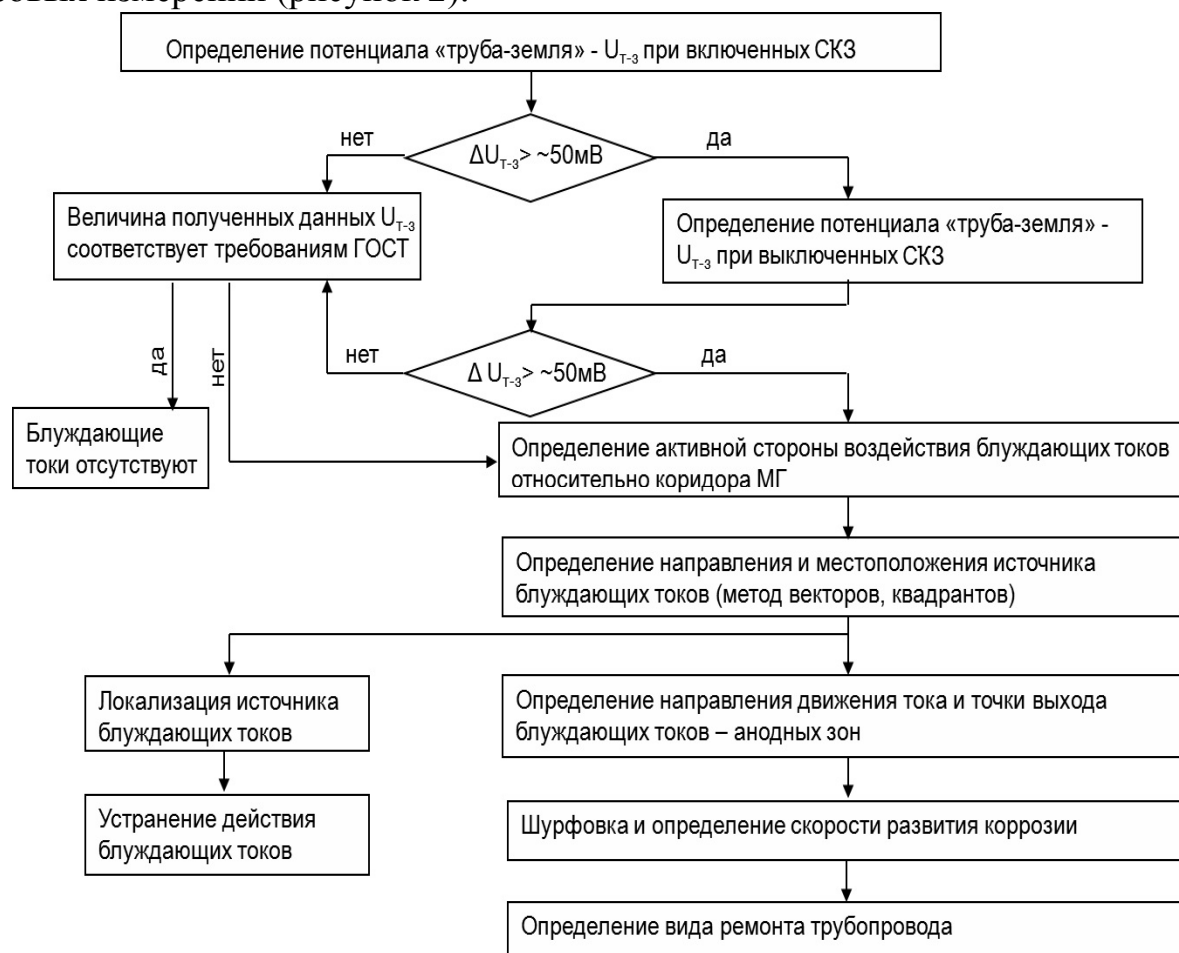


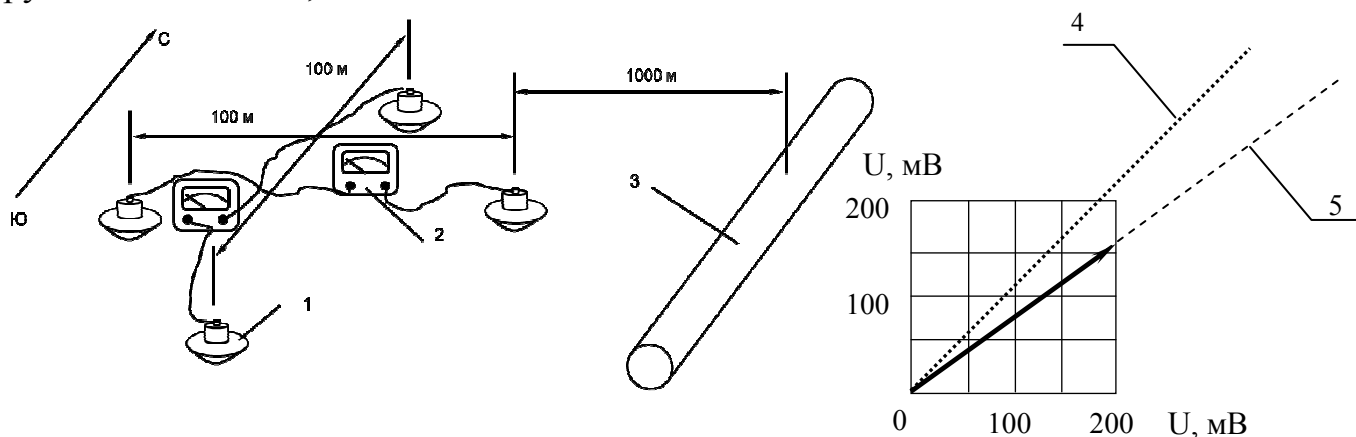
Рисунок 2 – Общая последовательность реализации методик по устранению

негативного действия источника БТ

Для более точной локализации источника тока предложена усовершенствованная методика, в которой предполагается учитывать удельное электрическое сопротивление грунта в месте измерения (рисунок 3). При этом векторные диаграммы строят с применением приведенного значения градиента v , определяемого по формуле:

$$v = \frac{K \cdot U}{\sum_{n=1}^K \rho_i} \quad (1)$$

где K – количество измерений удельного электрического сопротивления между местами установки электродов сравнения; U – измеренная разность потенциалов между электродами сравнения, В; ρ_i – удельное электрическое сопротивление грунта в i -той точке, Ом·м.



1 – электрод сравнения; 2 – вольтметр; 3 – трубопровод; 4 – направление местоположения источника без учета ρ ; 5 – направление, скорректированное с учетом ρ

Рисунок 3 - Построение вектора направления течения тока от источника БТ

В третьей главе «Проведение натуральных исследований на участке газопровода «Пунга-Вуктыл»» показано, что западная часть трассы газопроводов проложена на территории национального природоохранного парка «Югыд-Ва» Республики Коми и пересекает Уральские горы. Срок эксплуатации каждой из четырех ниток трубопроводов на этом участке составлял от 10 до 30 лет. Изоляция выполнена из полимерных лент трассового нанесения и экструдированного на заводе полиэтилена.

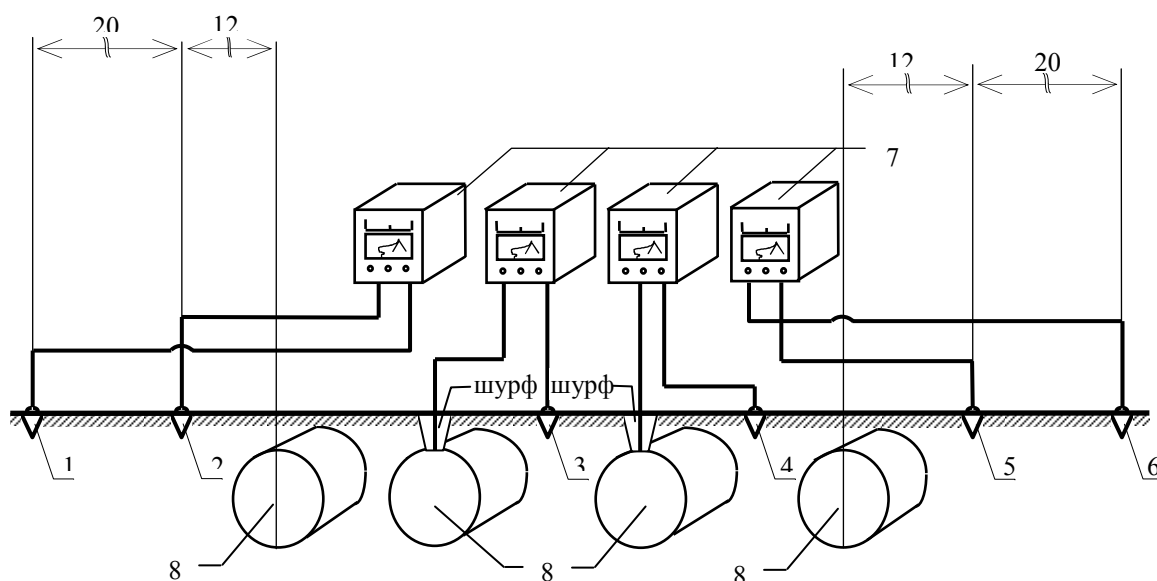
В 1985 г. при коррозионном обследовании данных газопроводов были выявлены участки, имеющие знакопеременные во времени потенциалы «труба – земля», предположительно вызываемые источником БТ. Реконструкция в 1991 г.

действующих систем ЭХЗ не обеспечила снижения воздействия блуждающих токов на многониточную систему трубопроводов.

На участке многониточного трубопровода протяженностью около 40 км (292-338 км) были установлены пять зон с наибольшим изменением поляризационного потенциала: 298; 304; 309; 319; 328 км. Протяженность каждой из зон составляла 0,5 - 1,0 км.

Результаты измерений показали, что отключение СКЗ не повлияло на вариацию потенциала. Таким образом, было установлено, что действующие станции катодной защиты не влияют на периодическое изменение потенциала «труба-земля».

Далее в соответствии с рисунком 2 выполнялся комплекс измерений, целью которого было установление места и направления движения тока по поверхности грунта. Первый этап измерений включал установку на каждой из пяти зон самопишущих приборов по схеме, изображенной на рисунке 4.



1, 2, 3, 4, 5, 6 – медно-сульфатные электроды сравнения; 7 – регистрирующая аппаратура;
8 – трубопровод

Рисунок 4 - Схема определения направления воздействия источника на трубопровод

Анализ данных позволил сделать важный вывод – корреляции между разностями потенциалов «электрод – электрод» и «труба – электрод» не наблюдается. Напряжение в системах «электрод - электрод» оставалось стабильным и характеризовало натекание тока от анодов к трубопроводам (при выключенных СКЗ составляли менее 40 мВ), при этом потенциал «труба – земля» хаотически

изменялся в диапазоне минус 4,5...+2,5 В относительно медносульфатного электрода.

Для локализации возможного источника постоянного тока были выполнены измерения интенсивности и направления движения токов в 1000 м от коридора трубопроводов. Результаты измерений показали, что при отключенных СКЗ напряжение между электродами составляло несколько милливольт, при этом оно не изменялось во времени и связано с допустимой разностью потенциалов применяемых электродов сравнения. При включенной системе ЭХЗ векторы показывали в направлении анодных заземлителей СКЗ, показания были стабильны во времени (рисунок 5).

Для анализа одновременности изменения потенциала были поведены синхронные измерения на всех пяти знакопеременных зонах. Результаты измерения показали, что на всех нитках, различных по сроку эксплуатации, типу и состоянию изоляции, изменение потенциала происходило синхронно на различных участках (рисунок 6).

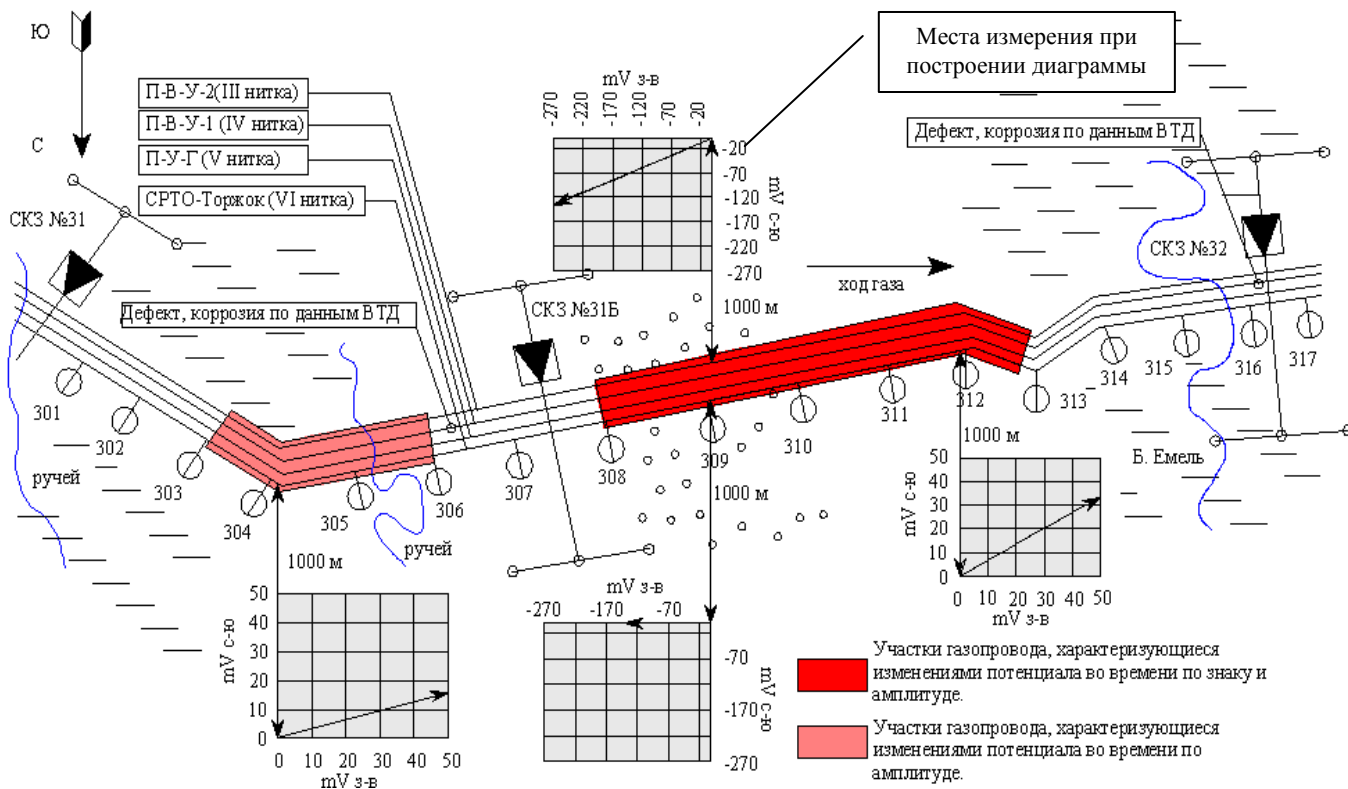
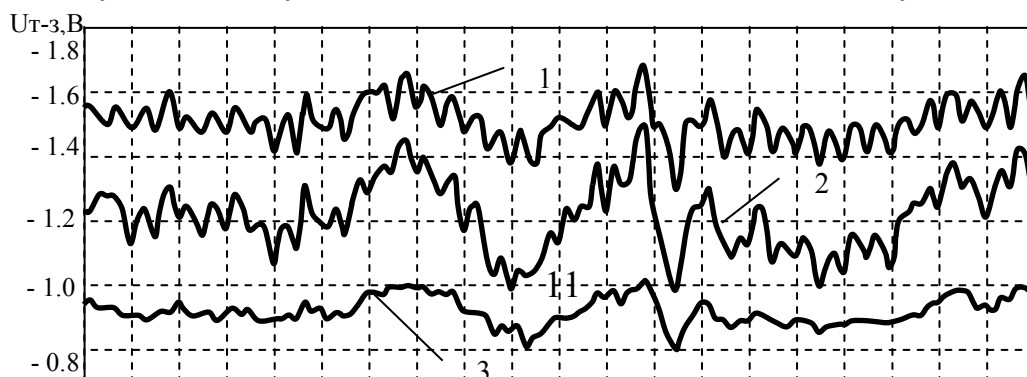


Рисунок 5 – Результаты локализации источник БТ на участке МГ



0.00 5.00 10.00 15.00 20.00

Рисунок 6 - Диаграмма изменения потенциала «труба-земля» во времени при синхронной записи на различных участках: 1 – 304 км; 2 – 309 км; 3 – 332 км

Для сравнительной оценки мощности источника тока были проведены измерения силы тока, протекающего по трубопроводу. Силу тока измеряли милливольтметром методом падения напряжения. Значение силы тока $I_{\text{ср}}$, протекающего по трубопроводу, определяли в этом случае по формуле:

$$I_{\text{ср}} = \frac{\Delta U_{\text{ср}}}{(R \cdot \ell)}, \quad (2)$$

где $\Delta U_{\text{ср}}$ – среднее значение падения напряжения на участке трубопровода, В; R – сопротивление одного метра трубы, Ом/м; ℓ – расстояние между точками измерений, м.

Рассчитано, что вдоль трубопровода протекает меняющийся во времени ток силой до 80...100 А. При этом характер изменения силы тока соответствует изменению потенциала, коэффициент корреляции около 1,0.

Точки «натекания-стекания» тока, характерные для развития электрохимической коррозии, вызываемой блуждающими токами, не были обнаружены. Это подтвердили результаты пропуска внутритрубного дефектоскопа. При освидетельствовании дефектов в шурфе отмечено, что образование точечных язв и каверн происходит преимущественно в т.н. «закрытых» дефектах изоляции, что нехарактерно для коррозии под действием БТ.

В четвертой главе «Лабораторные и стендовые исследования влияния протекающего электрического тока на потенциал «труба-земля»» для установления влияния протекающего по изолированному трубопроводу тока на его потенциал относительно грунта без токообмена проведен комплекс лабораторных и стендовых исследований.

Образец для исследования (модель трубопровода) представлял собой фрагмент цельнотянутой трубы наружным диаметром 25 мм с толщиной стенки 3 мм и длиной 3 м, из стали 17Г1С. Модель трубопровода покрывали наружным изоляционным покрытием – полимерной изоляционной лентой, толщиной 0,2 мм,

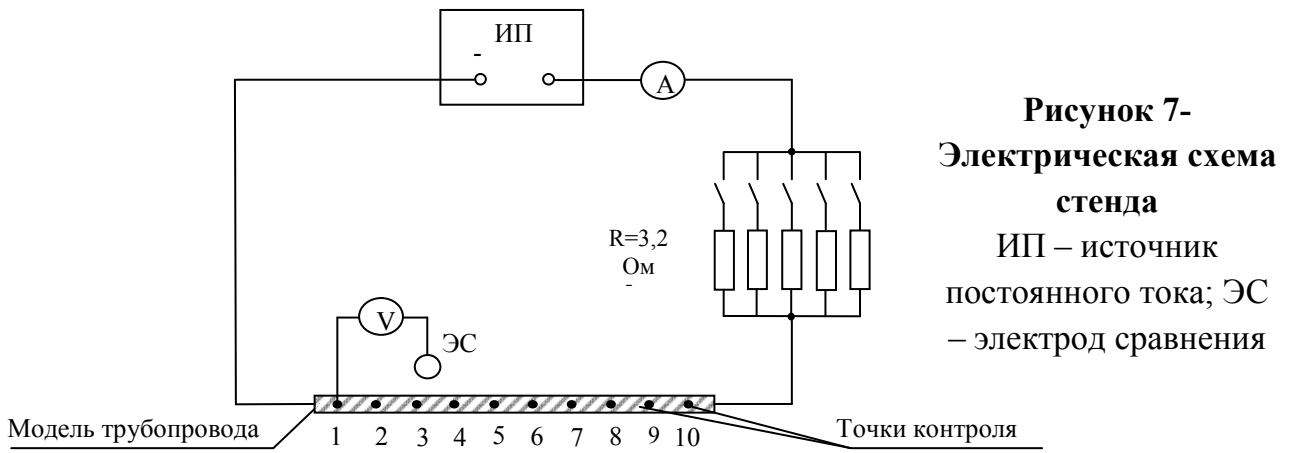
нанесённой в несколько слоев. Измеренное после установки модели в грунт электрическое сопротивление «труба-земля» – более 10 МОм.

Имитатор участка трассы трубопроводов состоял из ёмкости длиной 3 м, шириной 0,5 м и глубиной 0,3 м, заполненной тремя типами чередующихся грунтов: песком, торфом и глиной. Измеренные значения удельного электрического сопротивления грунта составили: песок – 315; торф – 440; глина – 320 Ом·м. Модель трубопровода закапывалась вдоль имитатора трассы на глубину около 3 см.

Для измерений применялись: вольтметр универсальный цифровой В7-78/1, с возможностью проведения многократных измерений, погрешность измерения напряжения постоянного тока – не более 0,005%, переменного – не более 0,12% (в диапазоне частот $10^{-5} \dots 10^3$ Гц); генератор сигналов низкочастотный ГЗ-36А; усилитель низкочастотных сигналов, с рабочим диапазоном частот 20 Гц...20 кГц и коэффициентом нелинейных искажений не более 0,25 %.

На первом этапе исследовалось влияние постоянного электрического тока на потенциал трубопровода. На втором этапе – на постоянный ток накладывалась переменная синусоидальная составляющая. На третьем этапе проводится оценка эффективности СКЗ по смещению потенциала «труба-земля» в условиях протекающего по модели постоянного тока.

При реализации первого этапа испытания собирали электрическую цепь по схеме, изображенной на рисунке 7. В процессе измерения медно-сульфатный электрод сравнения (ЭС) устанавливали над моделью трубопровода последовательно в различных точках контроля (рисунок 8).



**Рисунок 7-
Электрическая схема
стенда**
ИП – источник
постоянного тока; ЭС
– электрод сравнения

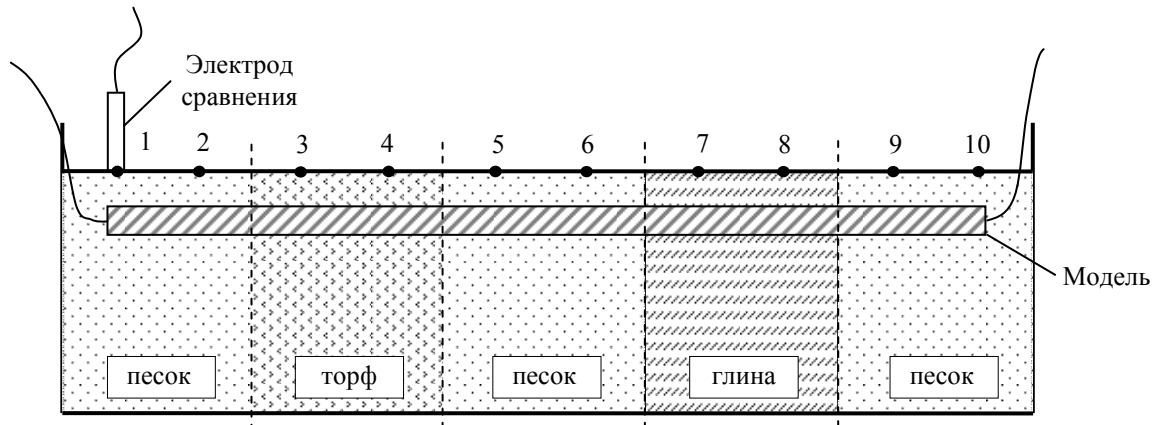


Рисунок 8 – Схематическое расположение точек измерения поляризационного потенциала

С помощью вольтметра выполнялось измерение потенциала «труба-земля» со скоростью 27 измерений в секунду. На 50-ом измерении цепь замыкалась ключом, обеспечивая протекание постоянного тока через образец.

На рисунке 9 представлены графики изменения потенциала «труба-земля» для различных значений силы тока и его полярности.

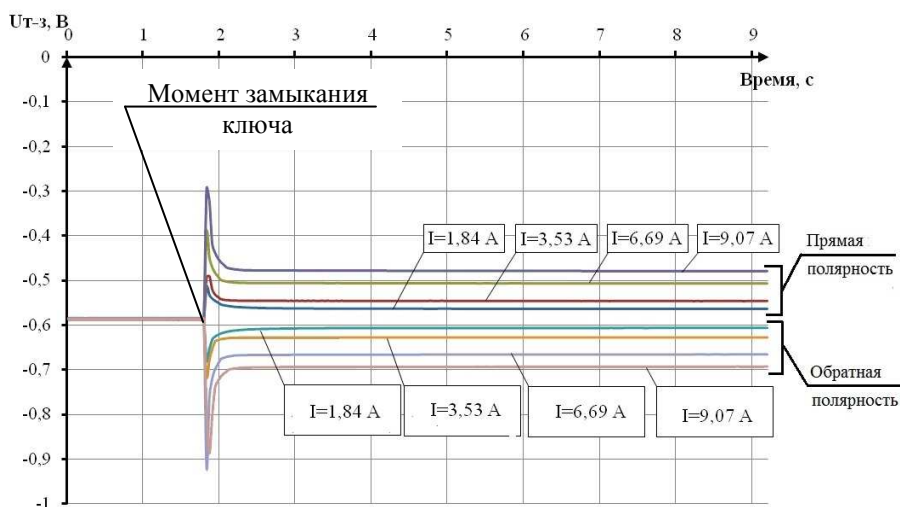


Рисунок 9 – Графики изменения потенциала «труба-земля» для различных величин силы тока и полярности

Установлено, что независимо от типа грунта, для всех десяти точек контроля измеренный потенциал «труба-земля» удовлетворительно описывается линейной зависимостью вида: $U_{т-з}=U_{ст}+k\cdot I$ (где $U_{ст}$ – стационарный потенциал трубопровода относительно м.с.э. в данной точке, В; k – параметр, численно равный 0,012 Ом; I – сила постоянного тока, протекающего вдоль трубопровода, А). После размыкания цепи весь наложенный потенциал мгновенно обращался в нуль, по аналогии с омической составляющей.

Измерения с переменной составляющей (второй этап) проводили при различной частоте накладываемого переменного тока, изменяемой с помощью генератора низкой частоты при фиксированном значении силы постоянного тока, равном 9,4 А (рисунок 10).

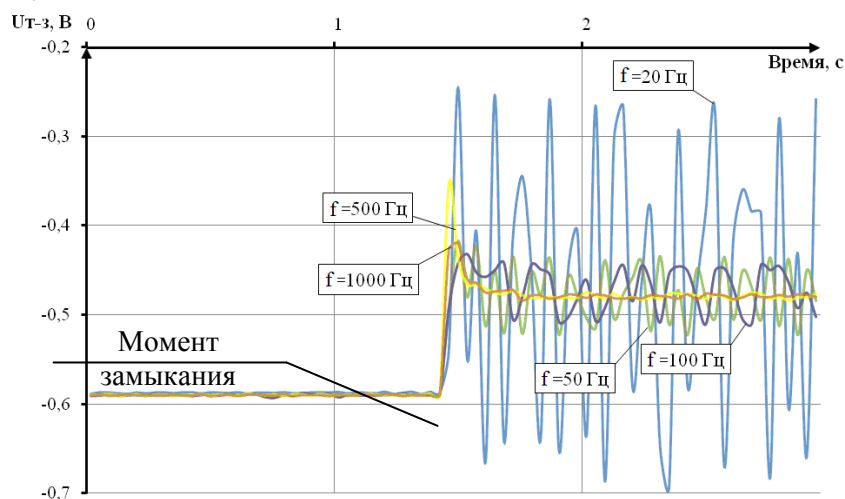


Рисунок 10 – Графики изменения потенциала «труба-земля» во времени в условиях натекания на модель постоянного тока с наложенной переменной составляющей для различных частот

Обнаружено, что влияние наложенной переменной составляющей наблюдается при частоте сигнала менее 500 Гц. Зависимость максимальной амплитуды колебаний потенциала «труба-земля» от частоты наложенного синусоидального сигнала представлена на рисунке 11 и аппроксимируется степенной функцией вида $\Delta U=2,3\cdot f^{0,91}$ с достоверностью аппроксимации порядка 0,95.

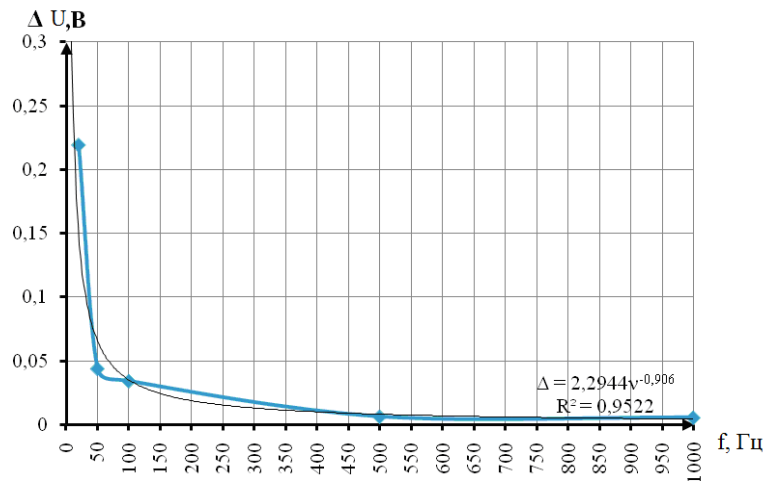


Рисунок 11 – Зависимость максимальной амплитуды колебаний потенциала от частоты наложенного переменного тока

На третьем этапе лабораторных исследований оценивали влияние моделей СКЗ на смещения потенциала, вызванное протеканием тока. Для этого в электрическую схему (рисунок 7) подключали модель СКЗ с анодным заземлением. Затем включали станцию катодной защиты на минимальный режим работы; пошагово увеличивали

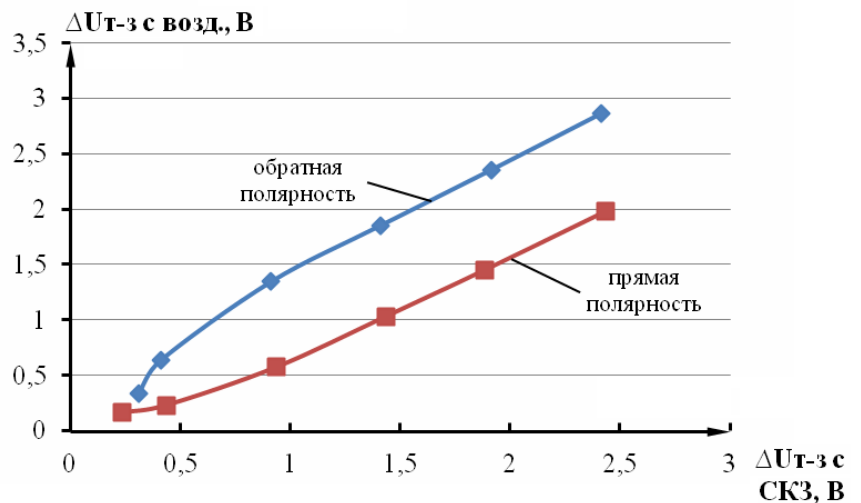


Рисунок 12 – Зависимость изменения потенциала «труба – земля» под действием модели СКЗ (ΔU т-з с СКЗ) от совместного действия модели СКЗ и протекающего тока(ΔU

выходной ток модели СКЗ; последовательно пропускали постоянный ток вдоль модели трубопровода в прямом и обратном направлениях; измеряли потенциал «труба-земля» на каждом шаге испытания (рисунок 12). Таким образом, установлено, что эффективность СКЗ не зависит от действия протекающего по трубопроводу тока, что в дальнейшем позволило разработать алгоритм регулирования станций в условиях действия неклассического источника БТ.

Для подтверждения полученных на лабораторной модели результатов на участке трубопровода проводились исследования на полупромышленном стенде (рисунок 13).

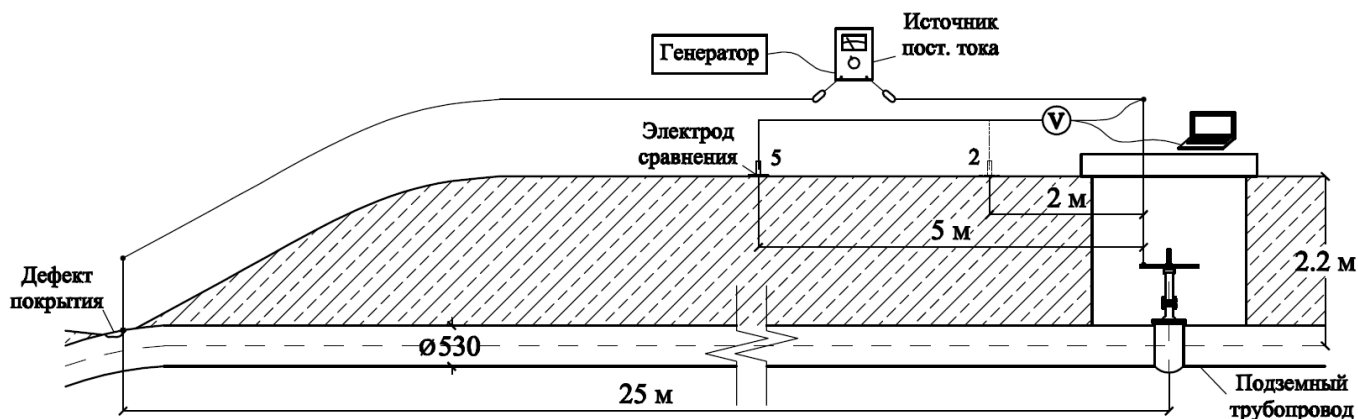


Рисунок 13 – Эскиз полупромышленного стенда

Объект исследования – стальной трубопровод номинальным диаметром 530 мм, с наружным изоляционным покрытием трассового нанесения из полимерных лент толщиной не менее 2 мм. Толщина стенки трубы – 8 мм. Тип грунта – суглинок, удельное электрическое сопротивление грунта – 120 Ом·м. Дефектов изоляции на участке по данным измерения прибором ИПИ-2000 не обнаружено. Для измерения потенциала были назначены 25 точек контроля, расположенные над осью трубопровода с интервалом 1 м.

На рисунке 14 представлены графики изменения потенциала «труба-земля» для различных величин силы тока и его полярности для пятой ($l=5$ м) точки контроля потенциала.

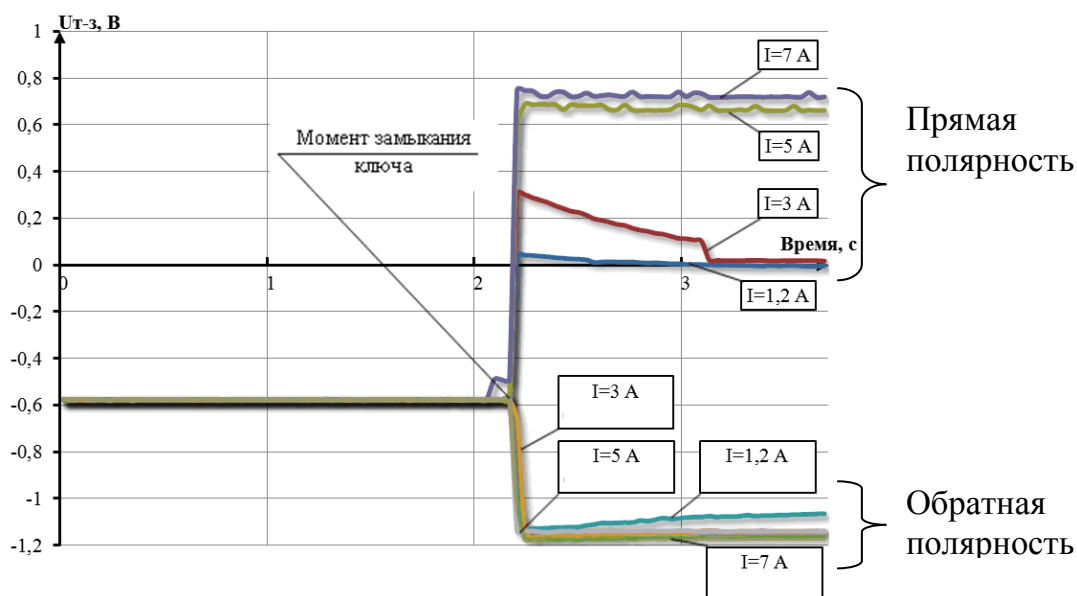


Рисунок 14 – Графики изменения потенциала «труба-земля» для различных величин силы тока и его полярности для пятой точки контроля ($l=5$ м)

Результаты показали, что постоянный электрический ток, протекающий по подземному участку, оказывал существенное влияние на потенциал трубопровода относительно грунта: при значениях силы тока от 5 А и выше потенциал значительно смещался в положительную область значений (смещение потенциала

около

1,3 В) до значений $U_{T-3} = +0,7...0,8$ В. Смещение в отрицательную область происходило не столь интенсивно: около 0,6 В, вплоть до значения потенциала минус 1,2 В (см. рисунок 14).

После обобщения полученных данных были построены графики изменения потенциала «труба-земля» в зависимости от силы протекающего тока и его полярности для обеих точек контроля (рисунок 15).

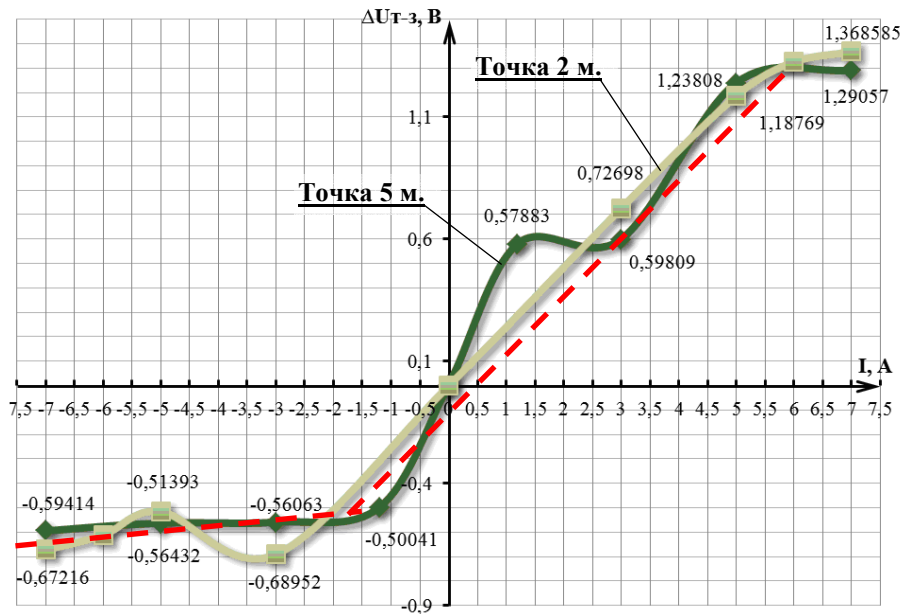


Рисунок 15 – Изменение величины отклонения потенциала «труба-земля» от стационарного потенциала в зависимости от силы протекающего тока и его полярности для второй ($l=2$ м) и пятой ($l=5$ м) точек контроля

Наиболее точно аппроксимировать полученные результаты можно двумя линейными моделями для различных значений силы тока: 1 – для диапазона силы тока $-7...-1$ А ; 2 – для диапазона силы тока $-1...7$ А:

$$\begin{cases} \Delta U_{T-3}=0,23I, \text{ при } I \in (-1;7)A; \\ \Delta U_{T-3}=0,033(I+1)-0,4, \text{ при } I \in (-7;-1)A. \end{cases} \quad (3)$$

Принятая математическая модель удовлетворительно описывает изменение потенциала во всех точках контроля (достоверность аппроксимации не менее 0,9).

Полученные результаты не в полной мере согласуются с результатами лабораторных испытаний, где была установлена единая зависимость для положительного и отрицательного смещения: $\Delta U_{T-3}=0,012 \cdot I$, т.е. в реальном трубопроводе при одинаковом значении силы тока смещение порядка в 20 раз выше.

В пятой главе «Практические мероприятия по идентификации и оценке опасности источников БТ, работающих без токобмена» разработаны идентификационные признаки таких источников блуждающего тока (рисунок 16):

- единство источника БТ, действующего на исследуемый участок газонефтепроводов;
- отсутствие точек «натекания-стекания» тока на трубопроводы;
- отсутствие в электрическом сигнале «труба-земля» переменной составляющей, кратной промышленным частотам (например, 50 Гц).

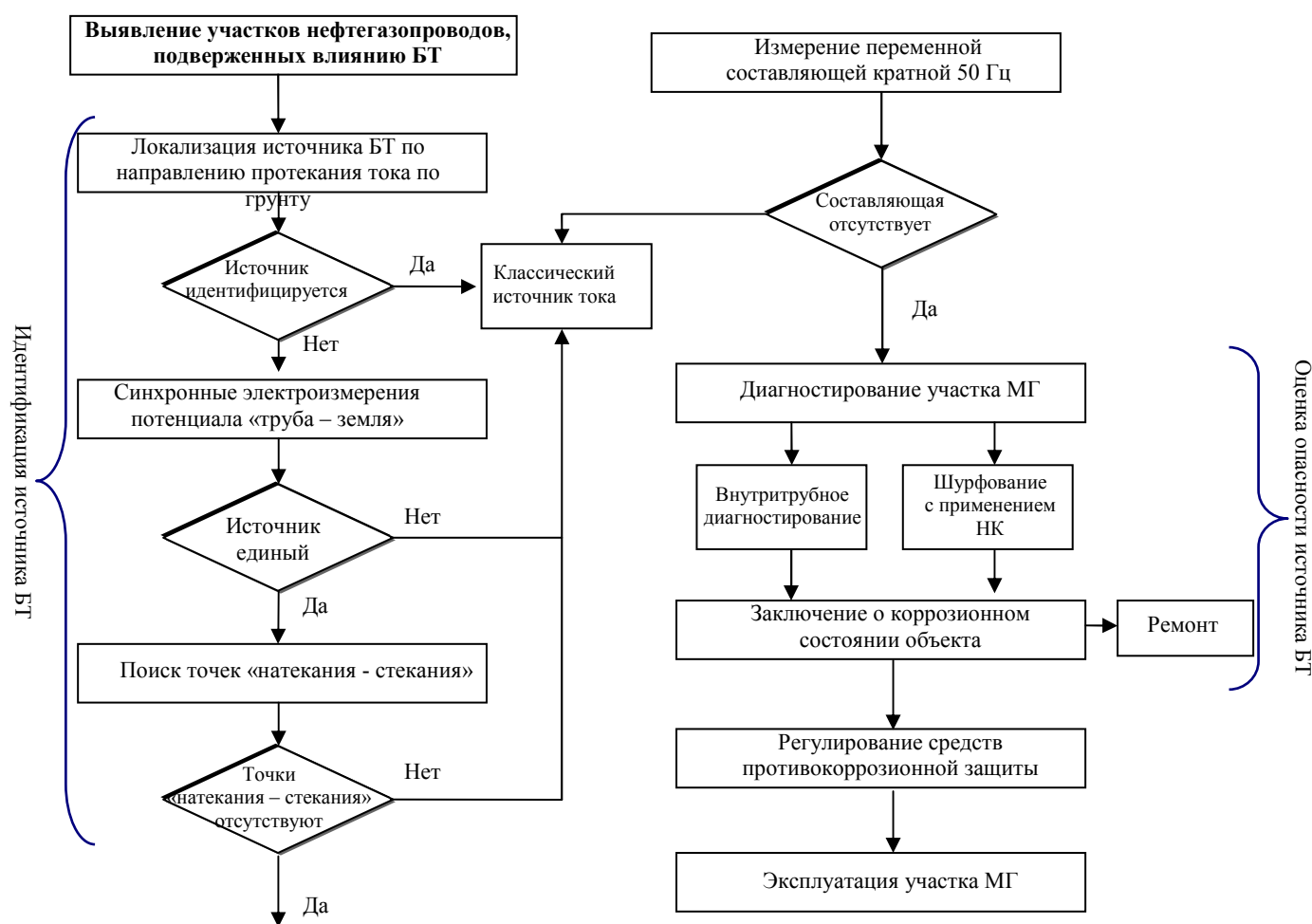


Рисунок 16 – Порядок выявления участков нефтегазопроводов, подверженных влиянию источника БТ, работающего без токобмена

Опасность действия неклассических источников блуждающего тока целесообразно оценивать по данным внутритрубной инспекции или прямыми измерениями в шурфах методами неразрушающего контроля с последующим расчетом скорости коррозии по стандартным методикам. Исследования выполняют на участках трубопровода со знакопеременными значениями потенциала «труба-земля». Для диагностирования применяют методы ультразвуковой дефектоскопии и

толщинометрии, вихретоковый контроль. Также необходимо оценивать дефекты изоляционного покрытия, в которых образованы дефекты металла трубы. Для электрокоррозии под действием БТ характерны дефекты в сквозных повреждениях изоляции.

Предложено определять единство источника воздействующего на участок магистрального нефтегазопровода путем синхронных измерений потенциала «труба-земля» или силы тока, протекающего вдоль трубопровода. В качестве критерия единства источника следует применять коэффициент корреляции между массивами данных синхронных измерений потенциала «труба-земля» на различных нитках коридора магистрального нефтегазопровода в одном сечении и в различных сечениях участка трубопровода (таблица).

Критерии единства источника БТ, воздействующего на участок нефтегазопровода

№	Значения коэффициента корреляции	Признак источника БТ
1	$> 0,7$	Действует один источник
2	$- 0,7 \dots + 0,7$	Действуют 2 и более источников
3	$< - 0,7$	Один источник с точкой натекания – стекания между крайними участками

Важной задачей при эксплуатации участка нефтегазопровода, подверженного действию неклассического источника БТ, является эффективная настройка режимов работы средств противокоррозионной защиты. При этом если источник работает без токообмена, автоматизированное регулирование работы СКЗ по поляризационному потенциалу приводит к хаотичному изменению режимов работы станции, к неэффективной работе, перерасходу электроэнергии и в последующем к выходу преобразователя из строя.

Известно, что потенциал трубопровода по отношению к грунту равен:

$$U_{т-з} = U_{ст} + U_{нал} + U_{ом}, \quad (4)$$

где $U_{ст}$ – стационарный потенциал данной марки стали в аналогичных условиях, В; $U_{нал}$ – наложенное значение потенциалов, требуемое смещение потенциала, обеспечивающее минимальную скорость коррозии; $U_{ом}$ – омическое падение напряжения.

Стационарный потенциал предлагается определять в лабораторных или трассовых условиях (рисунок 17).

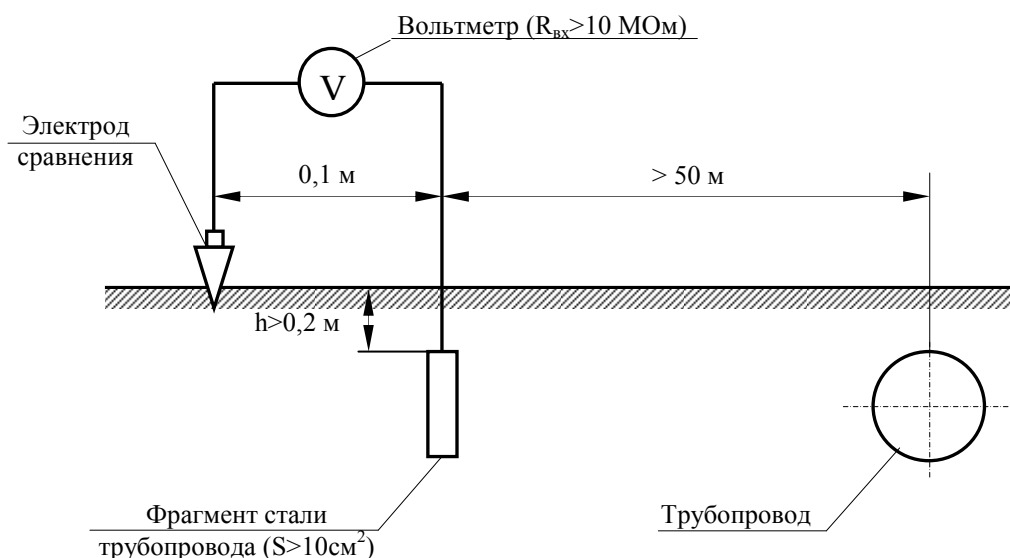


Рисунок 17 – Схема измерения собственного потенциала в трассовых условиях

Требуемого смещение потенциала $U_{нал}$ для минимизации коррозионных процессов определяется по известным методикам, изложенным в трудах В. Бекмана, В.В.Палашова, и составляет для изолированных трубопроводов порядка минус 100...200 мВ.

Омическое падение напряжения определяют кратковременным отключением СКЗ. Для создания автоматизированных станций защиты эффективных в

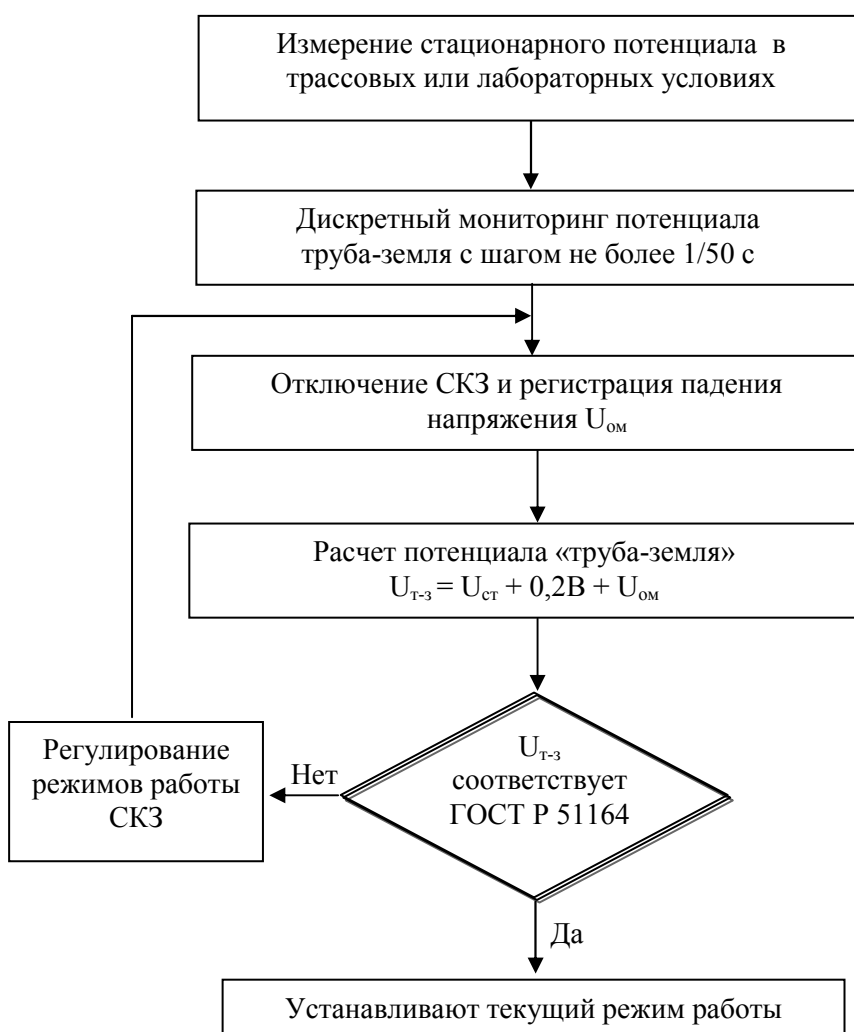


Рисунок 18 - Алгоритм регулирования средств ЭХЗ в условиях действия БТ без токообмена

условиях неклассических источников БТ разработан алгоритм настройки их работы (рисунок 18).

Основные выводы:

1. Установлено, что часть источников блуждающих токов, воздействующих на магистральные нефтегазопроводы, работают без токообмена в системе «труба-грунт». На основании анализа средств и методов повышения работоспособности нефтегазопроводов в условиях действия блуждающих токов установлено, что адаптированные методики поиска и оценки опасности таких источников отсутствуют.

2. Разработан и реализован на участке многониточного газопровода «Пунга-Вуктыл», подверженного воздействию источника БТ, комплекс усовершенствованных методик по локализации и оценке опасности источника блуждающего тока, воздействующего на систему нефтегазопроводов.

3. На основании интерпретации результатов электрометрического обследования на участке газопровода «Пунга-Вуктыл», установлено, что источник имеет природный характер и действует на трубопровод без токообмена. Результаты подтверждаются отсутствием точек стекания-натекания тока и коррозионных повреждений стенок труб в сквозных дефектах изоляции.

4. Лабораторными и полупромышленными исследованиями доказано, что протекающий по трубопроводу электрический постоянный ток, а также ток с переменной составляющей изменяет потенциал «труба-земля» без токообмена между трубой и грунтом, как по величине, так и по знаку.

5. Разработаны признаки идентификации неклассического источника блуждающего тока, а также алгоритм регулирования действующих станций катодной защиты, реализованный на системе электрохимической защиты Сосногорского линейно-производственного управления ООО «Газпром трансгаз Ухта». Ожидаемый экономический эффект от внедрения разработки составляет 312 тыс. руб. в год в расчете на 1 км трубопровода.

Основные положения диссертации опубликованы
в следующих работах:

1. Агинея Р.В., Фуркин А.В. Опыт исследования «неклассического» источника блуждающих токов, воздействующего на многониточную систему подземных газопроводов // Естественные и технические науки – 2008 – № 5 – С. 174-179.

2. Глотов И.В., Агинея Р.В., Фуркин А.В. Особенности электрохимической защиты сложно разветвленных трубопроводов

промышленных площадок // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе – 2009 – № 10 – С. 21-25.

3. Кузьбожев А.С., Бурдинский Э.В., Александров Ю.В., Агинец Р.В. и др. Методика прогнозирования состояния изоляционного покрытия длительно эксплуатируемых трубопроводов / Кузьбожев А.С., Бурдинский Э.В., Александров Ю.В., Агинец Р.В., Фуркин А.В. // Газовая промышленность – 2010 – № 4 – С. 14-18.

4. Агинец Р.В., Фуркин А.В., Шкулов С.А., Исследование источника блуждающих токов в горной местности Северного Урала // Практика противокоррозионной защиты – 2010 – № 3 – С. 29-32.

5. Фуркин А.В., Агинец Р.В. Повышение точности оценки размеров повреждений изоляции подземного трубопровода // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе – 2010 – № 5 – С. 25-30.

6. Фуркин А.В., Третьякова М.В., Агинец Р.В. Лабораторные исследования влияния протекающего по трубопроводу электрического тока на значения потенциала «труба-земля» // Трубопроводный транспорт [теория и практика] – 2011 – №3 (25) – С. 24-27.

7. Фуркин А.В., Князев Н.В., Андреев Д.В., Влияние соседних сооружений на поляризационный потенциал трубопровода // Сборник научных трудов: м-лы науч.-технич. конф. (Ухта, 17-20 апреля 2007 г.): в 2 ч.; ч. 1. – Ухта: УГТУ, 2007 – С. 188-193.

8. Глотов И.В., Фуркин А.В., Бурдинский Э.В., Пушкарев А.М., Повышение точности измерения поляризационного потенциала подземных нефтегазопроводов // Сборник научных трудов: м-лы науч.-технич. конф. (Ухта, 15-16 апреля 2008 г.): в 2 ч.; ч. 1. – Ухта: УГТУ, 2008 – С. 249-253.

9. Агинец Р.В., Фуркин А.В., Шишкин И.В. Теллурические источники блуждающих токов // Сборник научных трудов: м-лы науч.-технич. конф. (Ухта, 15-16 апреля 2008 г.): в 2 ч.; ч. 1. – Ухта: УГТУ, 2008 – С. 197-201.

10. Агинец Р.В., Фуркин А.В., Пушкарев А.М., Шишкин И.В., Способы повышения коррозионной защиты газонефтепроводов в условиях действия блуждающих токов // Сборник научных трудов: м-лы науч.-технич. конф. (Ухта, 15-16 апреля 2008 г.): в 2 ч.; ч. 1. – Ухта: УГТУ, 2008 – С. 320-323.

11. Глотов И.В., Фуркин А.В., Агинец Р.В., Развитие средств измерения поляризационного потенциала катоднозащищенного трубопровода // Сборник научных трудов: м-лы науч.-технич. конф. (Ухта, 17-20 апреля 2007 г.): в 2 ч.; ч. 1. – Ухта: УГТУ, 2007 – С. 99-103.

12. Фуркин А.В. Исследование неклассического источника блуждающих токов, воздействующего на систему магистральных газопроводов // М-лы 3-ей Междунар. науч.-технич. конф. «Актуальные проблемы трубопроводного транспорта Западной Сибири» – Тюмень: Экспресс, 2009 – С. 5-7.

13. Фуркин А.В. Электрометрическое обследование газопровода в зоне наведенных токов линии электропередач // М-лы 3-ей Междунар. науч.-технич. конф. «Актуальные проблемы трубопроводного транспорта Западной Сибири» – Тюмень: Экспресс, 2009 – С. 90-93.

14. Юшманов В.Н., Фуркин А.В., Агинец Р.В. Особенности интерпретации градиентов напряжения постоянного тока при электроизмерениях на газопроводах //

Сборник научных трудов: м-лы науч.-технич. конф. (Ухта, 14-17 апреля 2009 г.): в 2 ч.; ч. 1. – Ухта: УГТУ, 2007 – С. 205-208.

15. Агинеи Р.В., Фуркин А.В. Особенности тестирования свойств грунта при коррозионных исследованиях // Сборник научных трудов: м-лы науч.-технич. конф. (Ухта, 14-17 апреля 2009 г.): в 2 ч.; ч. 1. – Ухта: УГТУ, 2007 – С. 217-220.

16. Агинеи Р.В., Фуркин А.В. Методика прогнозирования технического состояния изоляционного покрытия длительно эксплуатируемых подземных газопроводов // Актуальные вопросы противокоррозионной защиты (РАСР-2009): сборник докладов III Международной конференции 14-15 октября 2009 г. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2009 – С. 165-169.

17. Агинеи Р.В., Фуркин А.В. Прогнозирование состояния изоляционного покрытия подземных газопроводов // Территория нефтегаз – 2010 – № 1 (15) – С. 21-25.

18. Третьякова М.В., Фуркин А.В. Оценка опасного влияния наведенных токов линий электропередач на подземные трубопроводы // Рассохинские чтения: м-лы семинара. – Ухта: УГТУ, 2011 – С. 320-325.

19. Фуркин А.В. Оценка влияния сила протекающего по трубопроводу тока на потенциал «труба-земля» // М-лы седьмой международной науч.-технич. конф. «Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта». – Новополюцк: ПГУ, 2011 – С. 92-94.

20. Третьякова М.В., Фуркин А.В. Коррозия на магистральных газопроводах, вызванная воздействием наведенного переменного тока ЛЭП // Сборник научных трудов: м-лы науч.-технич. конференции (Ухта, 20-23 сент. 2011 г.), Ч. 1. – С. 238-241.

21. Интерпретация результатов интенсивных электроизмерений на нефтегазопроводах : методические указания / Агинеи Р.В., Михалев А.Ю., Фуркин А.В., Юшманов В.Н. – Ухта: УГТУ, 2009 – 49 с.

22. Пат. 2352688 Российская Федерация, МПК С23F13/00. Устройство для измерения поляризационного потенциала трубопровода / Цхадая Н.Д., Кузьбожев А.С., Агинеи Р.В., Глотов И.В., Фуркин А.В., Шишкин И.В.; заявитель и патентообладатель Ухтинский государственный технический университет. – N 2007116775/02; заявл. 03.05.07; опубл. 20.04.2009.

23. Цхадая Н.Д., Кузьбожев А.С., Агинеи Р.В., Глотов И.В. и др. Способ определения коррозионной поврежденности поверхности / Цхадая Н.Д., Кузьбожев А.С., Агинеи Р.В., Глотов И.В., Бурдинский Э.В., Пушкарев А.М., Шишкин И.В., Фуркин А.В. // Заявка на изобретение 2008122670, опубл. 10.12.2009.

24. Агинеи Р.В., Фуркин А.В., Третьякова М.В. Способ определения местоположения источника блуждающего тока // Заявка на изобретение № 2011134224, опубл. 15.08.2011.

Подписано в печать __. __. ____ г. Формат А5

Уч. изд. л. 1,6. Тираж 100 экз. Заказ №5628

Отпечатано в отделе механизации и выпуска НТД Филиал ООО «Газпром ВНИИГАЗ» в г. Ухта

Лицензия КР №0043 от 9 июня 1998 г.

169300, Республика Коми, г. Ухта, ул. Севастопольская, 1а