

Электрометрическая диагностика дорожных переходов

А.Е. Абрамчук, А.В. Харитонов (ДООО «Оргэнергогаз»)

Задачи электрометрической диагностики дорожных переходов

Электрометрическая диагностика переходов магистральных газопроводов (МГ) под автомобильными и железными дорогами является составной частью комплекса работ, производимых при раз-

личных видах коррозионных обследований. Обладая спецификой распределения электрометрических параметров и необходимостью производства дополнительных видов работ, обследование дорожного перехода (ДП) существенно влияет на общие трудозатраты. По этим причинам определение видов и последовательности измерений на ДП, критериев принятия решений является необходимым звеном повышения эффективности и производительности электрометрической диагностики в целом. В соответствии с ГОСТ Р 51164-98 дорожные переходы относятся к зонам повышенной коррозионной опасности.

Стандартом предприятия СТП ДОО «Оргэнергогаз» 312-09 [1] обозначены задачи электрометрической диагностики ДП:

- определение наличия контакта труба–патрон;
- определение типа контакта;
- локализация местоположения гальванического контакта;
- оценка состояния средств и эффективности электрохимической защиты (ЭХЗ) сооружения труба–патрон;
- выработка заключения по техническому состоянию объекта и рекомендаций по ремонтному обслуживанию.

Основным (наиболее проблемным) объектом исследования методами электрометрической диагностики ДП является возможный контакт трубопровода и патрона (кожуха).

При формальной простоте задачи существует ряд факторов, значительно осложняющих принятие решения (заключения):

- отсутствие (или неисправность) на объекте обследования предписанных нормативной документацией средств контроля технического состояния ДП;
- низкие переходные сопротивления изоляционного покрытия (ИП) трубопровода, патрона и свечного отвода;
- наличие в непосредственной близости уложенных параллельно трубопроводу или вдоль дорожного полотна (секущих) кабельных линий и других коммуникаций (рельсы, водоводы и др.);
- наличие на значительном протяжении объекта обследования асфальтового или насыпного покрытия, не позволяющего обес-

печить надежный контакт электродов при электрических измерениях;

- значительное изменение глубины укладки трубопровода при пересечении дороги с сопутствующим изменением кажущихся значений измеренных величин потенциалов и других электрометрических параметров.

Перечисленные факторы в совокупности с несовершенством нормативной и методической базы диагностики технического состояния ДП определяют практическую невозможность однозначного заключения по результатам какого-либо одного вида электрометрических измерений.

Методические средства диагностики ДП

Существующие электрометрические методы и измерения, применяемые при обследовании технического состояния ДП, можно группировать следующим образом:

А. Методы диагностического обследования МГ (включая ДП):

- *электромагнитная диагностика* – синхронные измерения электрической компоненты для оценки состояния изоляционного покрытия и магнитных компонент для оценки распределения наложенного тока специальных генераторных устройств (ГУ) или на частоте модуляции СКЗ;
- *измерение потенциалов труба–земля* с малым шагом – метод выносного электрода или интенсивные измерения с прерыванием тока катодной защиты.

Б. Специальные электрометрические измерения на ДП:

- *регистрация формы сигнала* низкочастотными цифровыми осциллографами с измерением потенциалов труба–земля и патрон–земля;
- *измерение сопротивления труба–патрон* по переменному току измерителями сопротивлений заземлений;
- *измерение смещения потенциала* патрон–земля при катодной поляризации МГ опытной установкой катодной защиты;

- *измерение силы тока*, приложенного от источника постоянного напряжения к контрольным выводам от трубы и патрона.

Методы диагностического обследования МГ – измерение потенциалов над сооружением с малым шагом и электромагнитная диагностика – не располагают строгими количественными критериями диагностики дорожного перехода, тем не менее позволяют оценить общее состояние объекта, возможное наличие контакта труба–патрон и его местоположение, техническое состояние КИПов и свечных выводов. Надежность локализации предполагаемого места контакта определяется детальностью работ диагностическими методами и их комплексированием.

Для анализа результатов обследования диагностическими методами предлагаются [1] следующие эмпирические критерии:

- затухание наложенного переменного тока или тока переменной составляющей УКЗ, превышающее 3 дБ по измерениям до и после перехода, может свидетельствовать о наличии прямого (металлического) контакта кожух–труба;

- наличие протяженной аномалии потенциала равной и более протяженности перехода с амплитудой более 100 мВ (в сторону положительных значений) указывает на наличие электролитического или металлического контакта;

- местоположение контакта может быть приближенно оценено по началу зоны наибольшего затухания тока, максимуму поперечной электрической составляющей и минимуму продольной компоненты электромагнитного поля;

- локальные аномалии электрических компонент электромагнитного поля и потенциалов, пространственно совпадающие с КИП и свечными выводами, указывают на ухудшенное состояние ИП этих объектов.

Специальные электрометрические измерения в физической основе своей являются дублирующими, и в большинстве ситуаций их производство в полном объеме нецелесообразно – достаточно двух (для контроля) наиболее мобильных и достоверных. По имеющемуся на сегодняшний день опыту к категории обязательных (типовых) изме-

рений следует отнести регистрацию формы сигнала и сопротивления на переменном токе, не исключая (в случае неоднозначных результатов) дополнительных измерений силы тока методом смещения потенциала.

Наличие или отсутствие электрического контакта кожух–труба традиционно оценивают по измерениям сопротивления цепи кожух–труба $R_{к-т}$ на переменном токе. Согласно Руководству по эксплуатации средств противокоррозионной защиты трубопроводов [2, п. 5.8.1] и [3, прил. Г], измеренное сопротивление величиной ниже 0,3 Ом указывает на наличие прямого (металлического) контакта. Если величина сопротивления $R_{к-т}$ выше $0,1 \cdot L$ (где L – длина патрона, м), можно считать, что патрон и труба не имеют электрического контакта. Также в [2, п. 5.8.3] отмечена низкая точность оценок по показателю сопротивления, однако рекомендуемый как альтернатива метод смещения потенциала способен только установить достаточную эффективность изоляции между трубой и патроном.

Если величина сопротивления находится в пределах $(0,3 \div 0,1) \cdot L$ Ом, следует признать наличие электролитического контакта, однако в этом случае абсолютное большинство дорожных переходов оказываются в категории требующих планового ремонта. «Инструкцией...» [4] предлагаются критериальные значения сопротивлений в $(0,25 \div 1) \cdot L$ Ом. При величине измеренного сопротивления свыше 1 Ом дается несостоятельное в части физического смысла заключение об отсутствии электрического контакта.

Из вышеизложенного следует объективная необходимость более корректно сформулировать критерии и градации. В частности, должна присутствовать категория «несущественный электролитический контакт» (в том числе посредством близко расположенных к ДП наружных дефектов ИП трубопровода и кожуха) и «практическое отсутствие контакта». Электролитический контакт должен быть устранен при плановом ремонте дорожного перехода, несущественный электролитический контакт может быть устранен только при капитальном ремонте МГ (переизоляции).

Для первичной оценки состояния ДП типовой длины в 30–50 м по сопротивлению цепи кожух–труба $R_{к-т}$ и форме сигнала предлагается использовать следующие соотношения (таблица).

Оценка наличия контакта по сопротивлению цепи кожух–труба на переменном токе и отношению переменной составляющей сигналов труба–земля и кожух–земля*

Сопротивление $R_{к-т}$, Ом	Отношение амплитуд/эффективных значений переменной составляющей A	Оценка наличия контакта кожух–труба
$R_{к-т} < 0,3$	$A < 2$	Металлический контакт
$0,3 < R_{к-т} < 1$	$2 < A < 10$	Электролитический контакт
$1 < R_{к-т} < 3$	$10 < A < 20$	Несущественный электролитический контакт
$R_{к-т} > 3 \text{ Ом } (0,1 \cdot L)$	$A > 20$	Контакт практически отсутствует

При значительной длине переходов критериальные значения сопротивлений в части определения металлического контакта следует корректировать в соответствии с Дополнением к ВСН-009-88 [5].

Об отсутствии электрического контакта может свидетельствовать разница между значениями потенциалов труба–земля и кожух–земля более чем 0,3 В. Если результаты измерений потенциалов отличаются незначительно (от 0,1 до 0,3 В), возможен электролитический контакт [4, п. 5.3.1].

* Достоинство способа оценки по отношению амплитуд переменной составляющей состоит в его доступности при минимальной технической оснащённости эксплуатирующего подразделения. Для его реализации достаточно мультиметра средней чувствительности (0,1 мВ, однако предпочтительнее 0,01 мВ) при измерении эффективных значений переменного напряжения. Предварительные эмпирические критерии выработаны в ходе экспериментальных исследований ДОО «Оргэнергогаз».

На наличие прямого металлического контакта может указывать равенство значений разности потенциалов труба–земля и кожух–земля [2, п. 5.8.2], идентичность формы и амплитуды соответствующих сигналов [1]. При наличии блуждающих токов измерение/регистрация этих величин проводятся синхронно.

Особое внимание следует уделить относительно новому способу диагностики средств ЭХЗ и дорожных переходов, именуемому диагностикой по форме сигнала (ДФС).

В абсолютном большинстве типовых трассовых ситуаций** спектр сигнала труба–земля содержит гармоники 100 или 50 Гц, источником которых являются преобразователи катодной защиты (диодные или тиристорные выпрямители) и ЛЭП. Амплитуда сигнала переменной составляющей, в зависимости от удаления СКЗ и других источников, составляет от десятков милливольт до нескольких вольт. Постоянная составляющая зарегистрированного сигнала (среднее по выборке или среднеквадратическое) соответствует потенциалу сооружение–земля (с омической составляющей), переменная составляющая сигнала визуально или посредством преобразований Фурье может быть охарактеризована амплитудой и спектром.

Наличие контакта между трубой и патроном и его характер (см. таблицу) определяют по соотношению амплитудных и частотных характеристик сигналов кожух–земля и труба–земля:

- *отсутствует электрический контакт* (рис. 1) – потенциал $U_{к-з} \gg U_{т-з}$ (значительно более положительный), амплитуда переменной составляющей $A_{т-з} \gg A_{к-з}$, спектр сигнала кожух–земля – шумовой (не содержит явно выраженных гармоник системы катодной защиты). В некоторых случаях возможно наличие слабых индуктивных наводок сигнала катодной защиты на патрон. Сигнал кожух–земля при этом

** При производстве работ на объектах, оборудованных импульсными преобразователями катодной защиты (без переменной составляющей выходного сигнала), для диагностики по форме сигнала используется низкочастотный генератор, подключенный по схеме труба–ГУ–земля на ближайшем к ДП контрольно-измерительном пункте. Не рекомендуется использование для указанных целей КИП дорожного перехода.

имеет обращенную форму по отношению к сигналу труба–земля, амплитудные характеристики существенно различны;

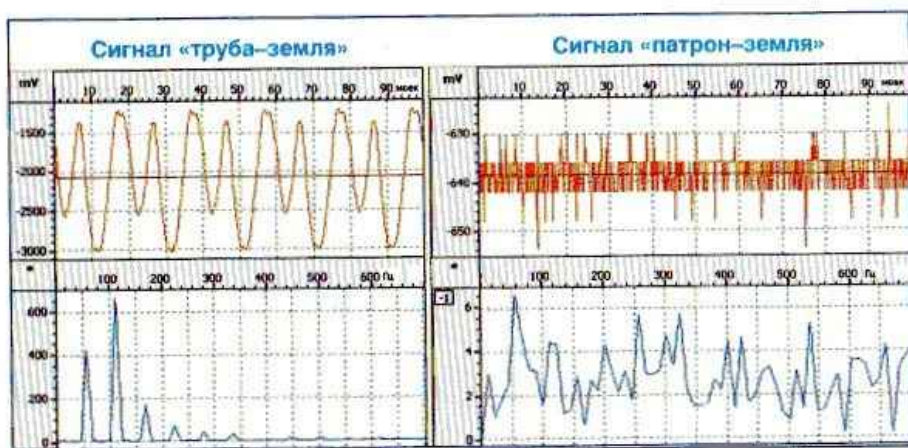


Рис. 1. Сигналы и спектры при отсутствии электрического контакта

- **электролитический контакт** (рис. 2) – потенциал $U_{К-З} > U_{Т-З}$ (более положительный), амплитуда переменной составляющей $A_{Т-З} > A_{К-З}$, форма сигнала и частотный спектр одинаковы;

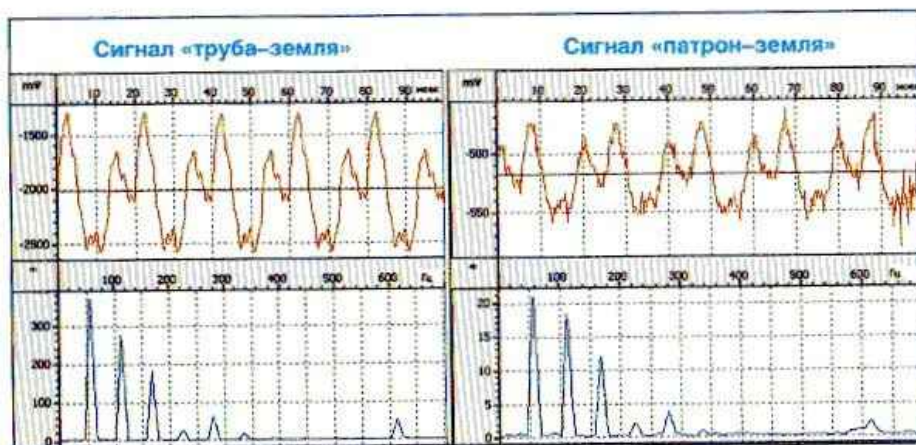


Рис. 2. Сигналы и спектры при наличии электролитического контакта

- **металлический контакт** (рис. 3) – потенциал $U_{к-з}$ приблизительно равен потенциалу $U_{т-з}$, амплитуда и частотный спектр переменной составляющей сигналов не имеют видимых отличий.

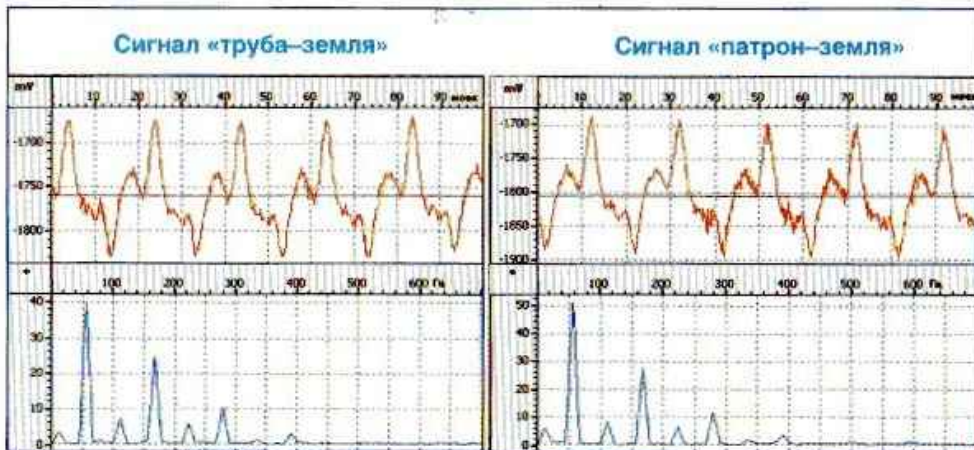


Рис. 3. Сигналы и спектры при наличии металлического контакта

По физической сути способ смещения потенциала является инфранизкочастотным вариантом метода ДФС, в особенности при автоматизации включения/отключения источника постоянного напряжения с помощью прерывателей тока и измерения потенциалов регистраторами.

Локализация местоположения контакта кожух–труба

При установленном по изложенным выше критериям металлическом контакте кожух–труба продолжением диагностического обследования ДП является процедура определения места контакта с целью его первоочередного устранения. Задача, в соответствии с технологической схемой (рис. 4) [4], тиражированной с несущественными отличиями в другие методические источники [2, 3], представляется примитивно простой и однозначно решаемой.

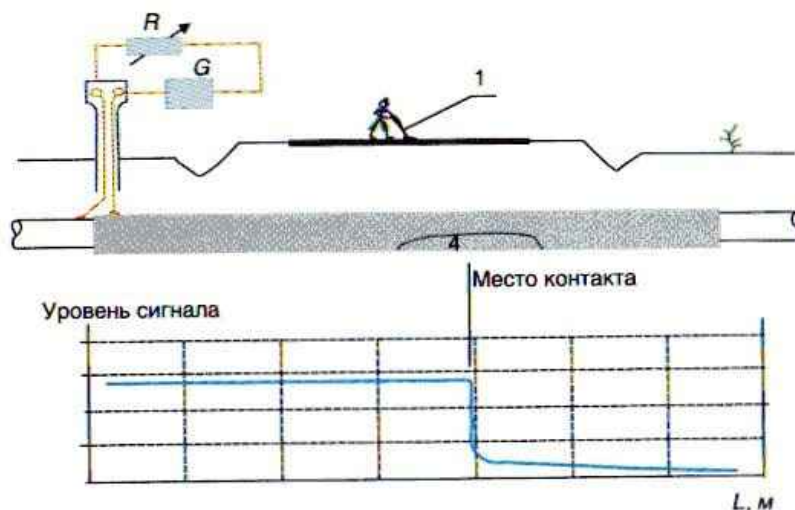


Рис. 4. Локализация места контакта по затуханию тока звуковой частоты:
1 – приемник сигнала; G – генератор звуковой частоты;
R – реостат

Многочисленные попытки ее реализации не только подразделениями ДОО «Оргэнергогаз», но и другими исследователями вопроса [6] оказались неэффективными. Основной причиной неработоспособности схемы подключения генераторных устройств патрон–ГУ–труба является крайне низкий уровень измеряемого сигнала над ДП из-за наложения полей противофазных токов по патрону и трубопроводу.

Практически неработоспособны и расчетные (по результатам измерений сопротивлений участков трубы) способы определения местоположения контакта [4, п.6.1–6.3]. В их основе заложены идеальные линейные схемы, которым реальные объекты соответствуют в исключительных случаях.

Решение проблемы может быть достигнуто путем комплексирования электрометрических методов с повышенной детальностью обследования (ДКО–ДП) и разработкой аппаратных средств согласования специфической нагрузки труба–патрон с ГУ.

Если в ходе типового коррозионного электрометрического обследования установлен предполагаемый гальванический контакт кожуха

и трубопровода, принимается решение о детальном электрометрическом обследовании объекта.

Комплекс работ по ДКО–ДП включает [1]:

- подготовительные топографические работы – трассирование трубопровода и закрепление на местности участка детальных работ пикетажем с шагом 2 м на протяжении патрона и не менее 20 м в обе стороны от перехода с шагом 10–20 м $\pm$ 200–350 м в обе стороны от перехода;
- производство электромагнитной диагностики с шагом 2 м и использованием поперечной приемной электрической линии размером в 1–2 м. При отсутствии на участке МГ достаточного уровня сигнала частотой 100 Гц работы производятся от автономного генераторного устройства, подключенного к трубопроводу через искусственный заземлитель и ближайший КИП. Использование в качестве дренажного КИП дорожного перехода не рекомендуется***.

В сложных технологических ситуациях (отсутствие КИП на большом протяжении, недостаточная мощность ГУ или чрезвычайно высокие переходные сопротивления заземлений) предпринимаются попытки обследования с подсоединением по схеме труба–ГУ–патрон. При наличии второго КИП обследование должно контролироваться измерениями с подключением ГУ к КИП с двух сторон дорожного перехода;

- производство измерений потенциалов методом выносного электрода шагом 2 м с подключением катушки к ближайшему КИП;
- локализация местоположения контакта труба–патрон производится по данным электромагнитной диагностики как начало зоны затухания тока или локальная зона наибольшего затухания и соответствующий максимум поперечной электрической компоненты электромагнитного поля (или минимум продольной компоненты). По данным измерений потенциалов место контакта может в некоторых случаях определяться по восстановленному эпицентру протяженной аномалии (рис. 5). Точность «реконструкции» протяженной аномалии и локали-

*** Подключение ГУ к КИП дорожного перехода по схеме труба–ГУ–земля или патрон–ГУ–земля не позволит оценить состояние примыкающей части сооружения по причине наличия «мертвой зоны» корректного измерения компонент электромагнитного поля.

зации места контакта по данным измерений потенциалов существенно зависит от состояния изоляционных покрытий ДП и других факторов. Способ не является самостоятельным и может использоваться только в комплексе с данными электромагнитной диагностики.

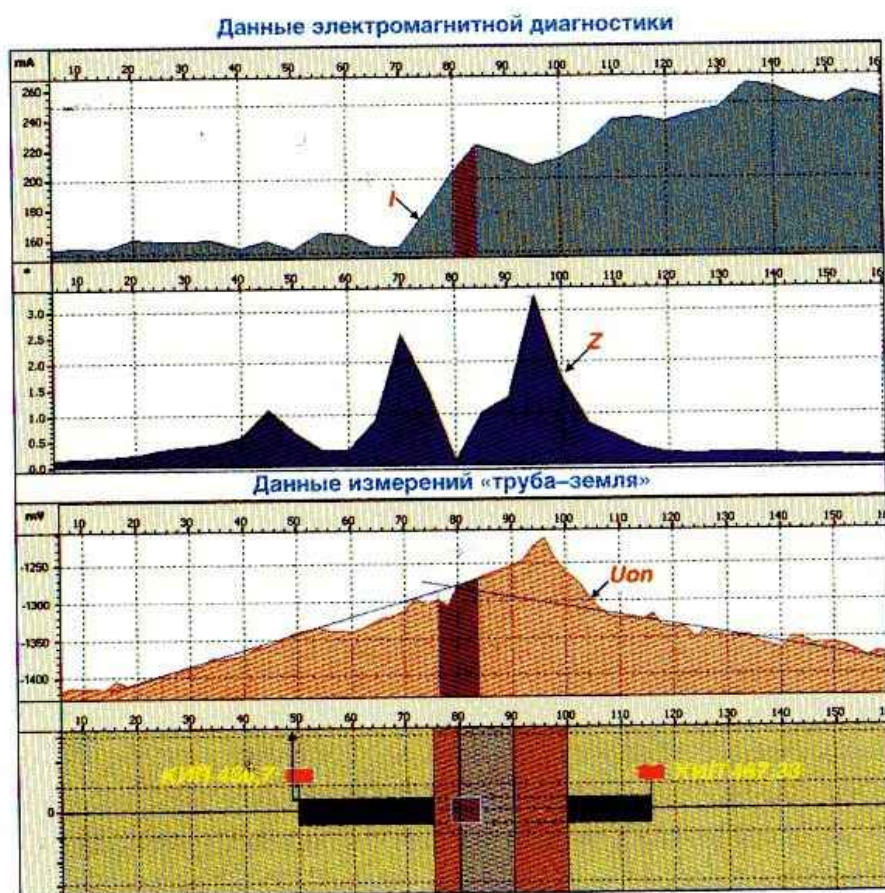


Рис. 5. Результаты электрометрического обследования ДП

В приведенном фактическом примере присутствует гальванический контакт труба-патрон (документально подтвержденный при вскрытии), которым обусловлены зона наибольшего затухания тока и протяженная (равная длине патрона) аномальная зона электрических измерений *продольной* установкой. Место контакта определяется по

началу зоны затухания тока и минимуму параметра Z (отношение электрической и магнитной компонент).

Наличием контакта труба–патрон обусловлена протяженная (более 150 м) положительная аномалия потенциала до 200 мВ. Место контакта определяется по эпицентру аномалии, восстановленному по характеру крыльев.

Выводы и рекомендации

1. Дорожные переходы с наличием металлического контакта кожух–труба должны относиться к объектам, подлежащим детальному комплексному обследованию. В большинстве реальных ситуаций решение всего перечня задач обследования ДП, включая определение местоположения контакта, по комплексу методов и детальности измерений сопоставимо с ДКО.

2. Из возможного перечня методов измерений на дорожных переходах предпочтительны способы с документальным подтверждением результата, в том числе ДФС. Метод (способ) ДФС имеет реальные перспективы широкого внедрения в практику диагностики средств ЭХЗ (установок катодной защиты, вставок электроизолирующих и др.).

3. Существующая методическая база электрометрических обследований дорожных переходов (уровня Р Газпром) содержит ряд недостаточно аргументированных экспериментальным материалом и технологической целесообразностью рекомендаций и нуждается в переработке. *В качестве проекта методического руководства к опытному использованию может быть предложен Стандарт «Оргэнергогаз»[1].*

Список литературы

1. СТП Оргэнергогаз 312-09 Электрометрическая диагностика линейной части магистральных газопроводов. Методика электромет-

рического обследования дорожных переходов при производстве диагностических и пусконаладочных работ.

2. Руководство по эксплуатации систем противокоррозионной защиты трубопроводов. – М., 2004.

3. МУ 01-17093655-03 Методические указания по измерениям и контролю противокоррозионной защиты трубопроводов. – М., 2003.

4. Инструкция по электрометрическому обследованию переходов магистральных газопроводов под автомобильными и железными дорогами. – М.: ВНИИГАЗ, 2002.

5. Дополнение к ВСН 009-88 Электрохимическая защита кожухов на переходах трубопроводов под автомобильными и железными дорогами.

6. Бойко С.И., Лещенко В.В., Винокуров В.И. (НТЦ «Нефтегаздиагностика»). Проблемы электрокоррозии многониточных трубопроводов, в том числе на переходах через автомобильные и железные дороги // НефтеГазоПромысловый ИНЖИНИРИНГ. – 2009. – II кв.