

# ОЦЕНКА ЗАЩИЩЕННОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ ОТ КОРРОЗИИ В ВЫСОКООМНЫХ ГРУНТАХ

В настоящее время протяженность магистральных газопроводов (МГ) составляет более 156 тыс. км и продолжает увеличиваться. Трубопроводный транспорт за годы эксплуатации зарекомендовал себя как надежный, дешёвый и бесшумный транспорт, способный перемещать на большие расстояния огромное количество энергоносителя.



А.Н. Улихин – ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

Так же, как любой другой транспорт, трубопроводный транспорт подвергнут коррозионному воздействию окружающей его среды и нуждается в постоянном поддержании его в работоспособном состоянии: обслуживании, контроле технического состояния, ремонте и физическом обновлении. Грунты, в которых проложены газопроводы, разнообразны по своим физическим и химическим характеристикам и оказывают различное коррозионное воздействие на металлическую поверхность трубопровода в местах нарушения сплошности изолирующего покрытия. Для уменьшения коррозионного воздействия на металл трубопровода в местах повреждения изоляционного покрытия применяется катодная защита. При воздействии катодной защиты происходит смещение потенциала трубопровода отрицательнее естественного потенциала трубопровода относительно

неполяризующегося электрода сравнения. Наибольшее смещение потенциала (поляризация) регламентировано величиной (минус 1,15 В) [1], превышение которой (по абсолютной величине), приводит к отрицательным воздействиям на адгезию изоляционного покрытия, а также может привести к недопустимым изменениям в структуре металла трубопровода.

Критерии, такие как степень защиты и эффективность защиты, характеризующие соотношение между скоростью коррозии при потенциале свободной коррозии и поляризации, определяются требованиями к допустимой скорости коррозии металла трубопровода.

Значение степени защиты (Р) выбирают в зависимости от требуемого срока эксплуатации трубопровода с учётом экономической целесообразности. Во всех случаях определяют сначала минимальную степень защиты трубопро-

вода ( $P_{\min}$ , %), обеспечивающую требуемый срок эксплуатации. При эксплуатации трубопровода с катодной защитой определяют фактическую степень защиты ( $P_{\text{факт}}$ , %) трубопровода и сравнивают с ( $P_{\min}$ , %). Применение защиты должно соответствовать условию, когда  $P_{\min} \leq P_{\text{факт}}$ . Во всех случаях эффективность действия электрохимического метода защиты можно охарактеризовать степенью защиты [2]:

$$P = \frac{W_{\text{кор}} - W_{\text{защ}}}{W_{\text{кор}}} 100 = \frac{i_{\text{кор}} + i_{\text{к}}}{i_{\text{кор}}} 100 \quad (1),$$

где  $W_{\text{кор}}$  – потеря массы металла за определенный интервал времени с единицы поверхности в условиях самопроизвольной коррозии  $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ;  $W_{\text{защ}}$  – потеря массы металла за определенный интервал времени с единицы поверхности при применении электрохимической защиты  $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ;  $i_{\text{кор}}$  – токовое выражение скорости коррозии ( $\text{мкА}/\text{см}^2$ );  $i_{\text{к}}$  – токовое выражение скорости коррозии при катодной защите ( $\text{мкА}/\text{см}^2$ ). Если в качестве допустимой скорости коррозии принять величину потери массы  $0,001 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , что соответствует совершенно стойкому состоянию [2], то необходимую степень защиты можно найти из следующей формулы:

$$P = \frac{K \cdot 0,001}{K} 100 \quad (2),$$

где  $K$  – скорость коррозии,  $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ . Соответствующую данному состоянию защитную плотность тока можно рассчитать по формуле:

$$i_{\text{защ}} = i_{\text{кор}} \frac{1000 \cdot (100 \cdot P) \cdot \sqrt{100 \cdot P}}{100 \sqrt{100 \cdot P}} \quad (3),$$

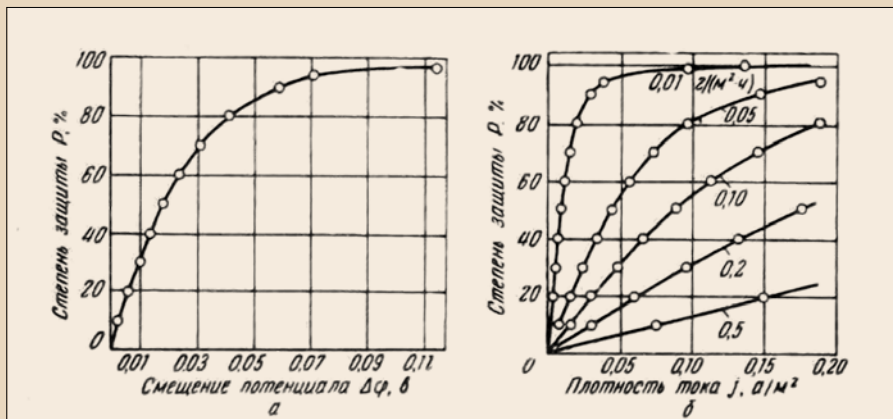


Рис. 1. Изменение степени защиты в зависимости от смещения потенциала (а); плотности тока (б). Цифры на рисунке – скорости коррозии, выраженные в  $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$

где  $i_{\text{кор}} = 0,96 \cdot K$  – токовое выражение скорости коррозионного процесса. Если  $K$  определена в  $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , то плотность тока коррозии и защитная плотность тока выражаются в  $\text{А}/\text{м}^2$ . Заданной плотности тока будет соответствовать определенное смещение потенциала:

$$\Delta\phi = \frac{2,303RT}{F} \lg = \frac{100}{100 \cdot P} \quad (4).$$

Зависимость степени защиты от смещения потенциала и плотности тока представлены графически на рис. 1 [3].

Из графиков видно, что для достижения определенной степени защиты необходимо и достаточно знать смещение потенциала (относительно потенциала свободной коррозии) и плотность натекающего тока.

Значения параметров катодной защиты в зависимости от скорости коррозии приведены в таблице 1 [3].

Применительно к высокоомным грунтам очевидно, что скорость коррозии (до  $0,1 \text{ мм}/\text{год}$ ) со степенью защиты 99% требует смещение потенциала до минус

$0,1160 \text{ В}$ , или плотность катодного тока  $0,96 \text{ А}/\text{м}^2$ .

Известно, что с увеличением удельного сопротивления грунта потенциал свободной коррозии стали смещается в положительную сторону. Таким образом, смещение потенциала металла в грунтах с высоким удельным сопротивлением (не агрессивные грунты) до минус  $0,85 \text{ В}$  (по МСЭ) обеспечивает требуемую степень защиты потенциалом, заведомо отрицательнее необходимого, но приводит к неоправданному перерасходу энергии [4].

Авторы [5] в качестве прямого критерия достаточности катодной защиты приняли, что скорость коррозии не должна превышать  $0,025 \text{ мм}/\text{год}$  при отсутствии питтинговой коррозии на поверхности стали, и был сделан вывод, что в широко распространенных условиях (от  $0,8$  до  $8000 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ) катодная защита по критерию смещения потенциала, равному  $100 \text{ мВ}$ , столь же эффективна, как и по критерию  $E = -0,85 \text{ В}$  (по МСЭ), но намного более целесообразна с технико-экономической точки зрения.

**М**<sup>®</sup> ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
**Промизоляция**  
**СИМВОЛ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ**

603058, г. Нижний Новгород, ул. Новикова-Прибоя, д. 4  
тел./факс: (831)258-39-58, 258-39-66  
e-mail: promizolyaciya@ruiz.ru; http://www.ruiz.ru

# ПОКРЫТИЯ

Таблица 1. Параметры катодной защиты в зависимости от величин скорости коррозии

СКОРОСТЬ КОРРОЗИИ, г/(м <sup>2</sup> ·ч)	СТЕПЕНЬ ЗАЩИТЫ, %	ПЛОТНОСТЬ КАТОДНОГО ТОКА, А/м <sup>2</sup>	СМЕЩЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА, В
0,005	80,0	0,010	0,0404
0,010	90,0	0,029	0,0580
0,020	95,0	0,085	0,0692
0,030	96,7	0,157	0,0855
0,050	98,0	0,336	0,0985
0,100	99,0	0,960	0,1160
0,500	99,8	10,650	0,1565
1,000	99,9	30,400	0,1740
5,000	99,98	337,000	0,2145

Таблица 2. Критерии электрохимической защиты от коррозии

УСЛОВИЯ ПРОКЛАДКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОПРОВОДА	ЗАЩИТНЫЙ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ, ОТНОСИТЕЛЬНО МСЭ, В	ПЛОТНОСТЬ ТОКА КАТОДНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ, мкА/см <sup>2</sup>
Грунты с удельным электрическим сопротивлением от 100 до 1000 Ом·м при температуре транспортируемого продукта менее 40 °С	- 0,75*	10
Грунты с удельным электрическим сопротивлением более 1000 Ом·м при температуре транспортируемого продукта менее 40 °С	- 0,65*	10

\* должны быть отрицательнее естественного на 100 мВ.

Е.А. Люблинский [6] отмечает, что практически полная защита от коррозии железа в спокойном электролите достигается при плотности тока около 12 мкА/см<sup>2</sup>.

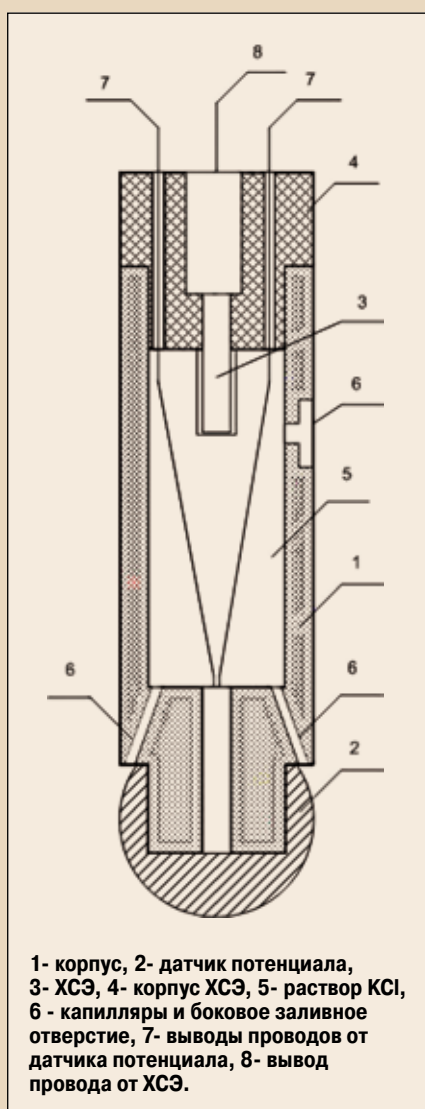
Исходя из анализа работ [5 - 6] можно сделать заключение о целесообразности изменения параметров электрохимической защиты для высокоомных грунтов.

С целью проверки данного утверждения необходимо было провести исследования по определению эксплуатационных параметров электрохимической защиты от коррозии магистральных газопроводов в высокоомных грунтах.

Методами поляризационных измерений было доказано, что защитный потенциал в грунтах с удельным сопротивлением от 100 до 1000 Ом·м составляет минус 0,75 В относительно медносulfатного электрода сравнения (МСЭ), а в грунтах с удельным сопротивлением более 1000 Ом·м минус 0,65 В (МСЭ). Минимальный (необходимый) защитный ток должен составлять в обоих случаях не менее 10 мкА/см<sup>2</sup> [7].

Экспериментально доказано, что для грунтов с удельным сопротивлением свыше 100 Ом·м и низкой агрессивностью достаточно поддерживать значения минимального защитного потенциала трубопровода на 100 мВ отрицательнее стационарного потенциала, с обеспечением необходимой степени защиты [7].

Результаты исследований значения защитного потенциала по поляризационному потенциалу и плотности тока



1- корпус, 2- датчик потенциала, 3- ХСЭ, 4- корпус ХСЭ, 5- раствор КСl, 6 - капилляры и боковое заливное отверстие, 7- выводы проводов от датчика потенциала, 8- вывод провода от ХСЭ.

Рис. 2. Конструктивная схема ЭС

катодной поляризации, в зависимости от условий эксплуатации участков газопроводов, проложенных в высокоомных грунтах, нашли свое отражение в подготовленном автором руководящем документе [8] и приведены в таблице 2.

В настоящее время существует несколько методов определения поляризационного потенциала. Рассмотрим наиболее распространённые методы, применяемые в полевых условиях.

Метод измерения поляризационного потенциала отключением источника катодной поляризации вносит в измерения большую погрешность и не всегда применим [9].

Метод измерения поляризационного потенциала с применением электрода имитатора (ЭИ), моделирующего сквозной дефект изоляционного покрытия трубы, основанный на отключении ЭИ, существенно повысил точность измерения потенциала трубопровода, но проблему полностью не решил. В различной литературе ЭИ может называться вспомогательным электродом (ВЭ) или датчиком потенциала [10].

Следует отметить, что потенциал трубопровода представляет некую среднюю величину значений потенциалов металлической поверхности трубопровода в местах сквозных дефектов изоляции вблизи точки измерения. Датчик потенциала имитирует сквозной дефект в изоляции трубопровода, и, поскольку он находится в тех же условиях, что и трубопровод, измеренный потенциал на датчике потенциала отвечает уровню



катодной поляризации трубопровода в месте сквозного дефекта изоляционного покрытия.

Измерения методом прерывания датчика потенциала осуществляют приборами с коммутацией тока, такими как, например: ПКИ-02, 43313.1, ПКО и др. Показания этих приборов (по разным причинам) не всегда соответствуют действительным значениям измеряемого поляризационного потенциала.

Точность измерения поляризационного потенциала играет огромную роль в оценке защищённости трубопроводов в системе мониторинга и оптимизации критериев защищённости при катодной поляризации. Не решив задачу по достижению достаточной точности измерения поляризационного потенциала, говорить об оптимизации эксплуатационных параметров нецелесообразно.

Решение задачи по повышению точности измерения поляризационного потенциала на магистральных газопроводах в грунтах различной проводимости привело к разработке и созданию в лаборатории электрохимической защиты ООО «Газпром ВНИИГАЗ» устройства для измерения поляризационного потенциала, которое применяется при обследовании магистральных газопроводов по зонд - модульной технологии, но устройство не применимо в стационарном варианте [11].

Следующее устройство, разработанное в лаборатории электрохимической защиты ООО «Газпром ВНИИГАЗ», - это электрод сравнения (ЭС), который может применяться в обследовании подземных трубопроводов по зонд-модульной технологии, а также в качестве стационарного электрода длительного действия. Патентообладателем трех видов

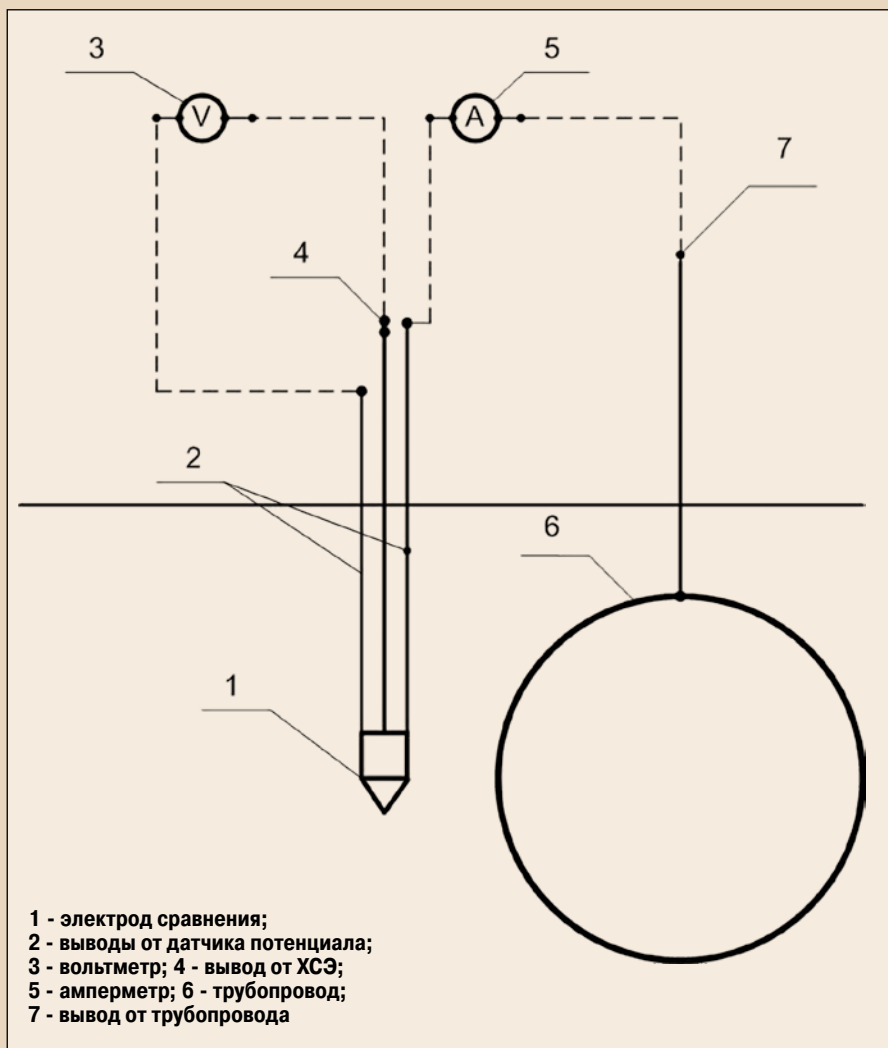


Рис. 3. Схема установки и подключения ЭС

ЭС является ООО «Газпром ВНИИГАЗ» [12-14].

Конструкция одного из трёх видов ЭС представлена на рис. 2. Диэлектрический корпус 1 ЭС имеет форму полого цилиндра, заполненную загущенным раствором КС1 5, в котором размещен хлор-

серебряный электрод (ХСЭ) 3, имеющий вывод провода 8 наружу. Датчик потенциала 2 снабжен двумя электрическими проводами 7, выведенными наружу. В нижней торцевой части корпуса 1 выполнены сквозные капиллярные отверстия 6, заполненные загущенным



• Обеспечение объектов газоснабжения соединительными деталями, цокольными вводами, запорной арматурой



• Оказание услуг по антикоррозионной изоляции стальных труб двух- и трехслойным полиэтиленовым покрытием

140054, Московская обл., г. Котельники,  
 Дзержинское шоссе, д. 4  
 e-mail: kondrashova.ppk@ariel.ru  
 nelly.ppk@ariel.ru  
 www.arielpolimer.ru



Ариэль  
 Полимер

Тел./Факс: +7 (495) 777-13-88

• Поставка стальных труб диаметром от 32 до 530 мм с антикоррозионным двух- и трехслойным полиэтиленовым покрытием, а также футляров в изоляции ВУС (из б/у труб) для проколов

раствором KCl. Датчик потенциала 2 расположен вблизи капиллярных отверстий 6, имеет шарообразную форму (как один из вариантов) и является сменным.

В основе измерения лежит метод измерения потенциала металлического образца (датчика потенциала), находящегося в электролите с применением капилляра Габера-Луггина.

ЭС может применяться в любых влажных мелкодисперсных грунтах, в заболоченных грунтах, в проточных и непроточных водных средах с любым содержанием солей, в высокоомных грунтах, в зонах блуждающих токов. Кроме того, применение ЭС возможно в условиях неоднократного замораживания, как кратковременного, так и длительного. ЭС вредного влияния на окружающую среду не оказывает.

Для оценки эффективности работы ЭХЗ с использованием ЭС разработана и проверена в полевых условиях методика применения ЭС для определения естественного и поляризационного потенциалов на подземных магистральных трубопроводах, находящихся под катодной защитой в грунтах различной проводимости.

Для проведения измерений не требуется отключений (прерываний поляризации) датчика потенциала от сооружения.

Все измерения выполняются серийно выпускаемыми вольтметрами с «вход-

ным» сопротивлением не менее 20 МОм [11-14].

Поляризационный потенциал измеряют подключением вольтметра в цепь между выводом от датчика потенциала, не подключенным к трубопроводу, и выводом от ХСЭ в соответствии с рис. 3. К плюсовой клемме вольтметра подключают вывод от датчика потенциала, к минусовой клемме - вывод от ХСЭ. Перевод значений потенциала по ХСЭ, взятых по абсолютной величине, в значения относительно МСЭ производят прибавлением 120 мВ (по абсолютной величине).

Натекающий на датчик потенциала ток измеряют подключенным миллиамперметром в разрыв цепи между выводом от находящегося под катодной поляризацией металлического сооружения и выводом от датчика потенциала.

Защищенность от коррозии подземных металлических сооружений оценивают на основе анализа результатов измерений поляризационного потенциала и/или плотности тока катодной поляризации, путём сравнения измеренных параметров со значениями этих величин, указанных в нормативных документах [1, 8].

Применение ЭС позволяет обеспечить дифференцированный подход к параметрам электрохимической защиты МГ от коррозии, проложенных в грунтах с различными физико-химическими свойствами.

В лаборатории электрохимической защиты ООО «Газпром ВНИИГАЗ» проведены исследования по определению критериев защищенности в грунтах всего спектра сопротивлений. Установлено, что в высокоомных грунтах критериями защиты может быть отрицательное смещение потенциала на 100 мВ относительно потенциала свободной коррозии.

Можно сделать заключение, что, если контролировать и поддерживать смещение потенциала\* относительно потенциала свободной коррозии с достаточной точностью при определенных условиях эксплуатации подземных трубопроводов, можно с большей эффективностью и с меньшими затратами обеспечивать катодную защиту подземных трубопроводов в высокоомных грунтах.

### ВЫВОДЫ

**1.** Решена задача контроля защищенности стальных трубопроводов от коррозии на участках с высокоомными грунтами.

**2.** Апробирована методика измерения поляризационного потенциала и плотности натекающего тока с применением одного из запатентованных электродов сравнения.

**3.** Обоснована необходимость оптимизации параметров катодной защиты стальных магистральных газопроводов от коррозии в высокоомных грунтах.

\* Для грунтов с различным удельным сопротивлением, характеризующим коррозионную агрессивность, необходимо определить потенциалы смещения

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 51164-98 Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии.
2. Бэкман В., Швенк В. Катодная защита от коррозии. Справочник: Пер. с нем. Под ред. Стрижевского И.В. / М.: Металлургия, 1984. 495 с.
3. Краснаярский В.В., Френкель Г.Я., Носов Р.П. Коррозия и защита металлов / М.: Металлургия, 1969. 299 с.
4. Улихин А.Н., Сирота Д.С. Оптимизация параметров магистральных газопроводов от коррозии в грунтах с различным удельным электрическим сопротивлением // Практика противокоррозионной защиты. 2008. №3(49). С 17 – 19.
5. Фрейман Л.И., Прибыток Б.П. Об оценке коррозионности грунта по отношению к углеродистым сталям с учетом минимального катодного защитного потенциала и об одном из методов его определения // Защита металлов. Том 29. 1993. № 3. С. 440-447.
6. Люблинский Е.Я. Электрохимическая защита от коррозии. / М.: Металлургия, 1987. 96 с.
7. Отчет о НИР № 0691-07-1 от 30.01.2008 г. «Разработка нормативных документов, регламентирующих требования к электрохимической защите газопроводов, проложенных в высокоомных (скальных, песчаных и многолетнемерзлых) грунтах» // ООО «ВНИИГАЗ». 2008 г.
8. Р Газпром 9.2-005-2009 Критерии защищенности от коррозии для участков газопроводов, проложенных в высокоомных (скальных, песчаных, многолетнемерзлых) грунтах.
9. Глазов Н.П. Повышение эффективности противокоррозионной защиты стальных трубопроводов // Защита металлов, 2001. Том 37. №5. С. 464 – 470.
10. Фрейман Л.И. О месте электрода сравнения при электрохимических измерениях на подземном трубопроводе // Защита металлов, 2004. Том 40. № 2. С 208 – 212.
11. Пат. 44117 РФ, С23F13/00. Устройство для измерения поляризационного потенциала подземного металлического сооружения // Фатрахманов Ф.К., Петров Н.А., Копьев И.Ю., Хмельницкий Б.И., Улихин А.Н. (Россия). 2004123121/22.; Заявлено 29.07.2004; Опубл. 27.02.2005, Бюл. № 6.
12. Пат. 78317 РФ, G01N17/02. Электрод сравнения // А.Н. Улихин, Д.С. Сирота, Д.Н. Запавалов (Россия). - № 2008128626/22; Заявлено 14.07.2008; Опубл. 20.11.2008, Бюл. № 32.
13. Пат. 78318 РФ, G01N17/02. Электрод сравнения // А.Н. Улихин, Д.С. Сирота, Д.Н. Запавалов (Россия). - № 2008128630/22; Заявлено 14.07.2008; Опубл. 20.11.2008, Бюл. № 32.
14. Пат. 78319 РФ, G01N17/02. Электрод сравнения // А.Н. Улихин, Д.С. Сирота, Д.Н. Запавалов (Россия). - № 2008128623/22; Заявлено 14.07.2008; Опубл. 20.11.2008, Бюл. № 32.