

УДК 622.692.4:620.197(075.8)

Ю.А. Иванов¹, e-mail: ta-ivanov@mail.ru; **В.А. Колпаков¹**, e-mail: kolpakov99@mail.ru;

С.М. Чухланцев¹, e-mail: chuhlantsev@mail.ru; **В.П. Дмитриенко²**, e-mail: dvptsk@mail.ru;

А.С. Маслов³, e-mail: a.maslov@gtt.gazprom.ru

¹ ООО «НПП ЭлектроХимЗащита» (Томск, Россия).

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск, Россия).

³ ООО «Газпром трансгаз Томск» (Томск, Россия).

Опыт эксплуатации безэлектролитных сухих электродов сравнения длительного действия СЭС-2ЭХЗ

Появление качественной заводской изоляции создает предпосылки для снижения скорости коррозии трубопроводов до 0,1–0,02 мм/год на участках с повышенной агрессивностью грунта. Приоритетной задачей при этом является обеспечение погрешности измерений поляризационного потенциала, не превышающей ± 40 мВ. В статье на основании анализа погрешностей метода отключения вспомогательного электрода (ВЭ) обосновываются требования к электродам сравнения длительного действия (ЭСДД) и проводится оценка возможности решения данной задачи, в том числе с использованием электрода СЭС-2ЭХЗ. Принцип работы данного электрода основан на использовании в качестве потенциал-определяющей системы микрогальванического источника постоянного тока и корректора потенциала для его калибровки. По данным расчетов, подтвержденных опытно-промышленной эксплуатацией электродов СЭС-2ЭХЗ, калибровка позволяет сохранить заявленную точность ± 10 мВ в течение всего срока эксплуатации 30–40 лет при ее периодичности 5–10 лет. По данным опытно-промышленной эксплуатации, отклонение потенциала электродов СЭС-2ЭХЗ без коррекции не превысило ± 2 мВ за два года на участке трубопровода с низким уровнем блуждающих токов и содержания солей. На участке с высоким их уровнем смещение потенциалов за один год составило от ± 4 до ± 15 мВ.

Также разработана и испытана переносная модификация электрода СЭС-2ЭХЗ для применения в качестве электрода сравнения переносного (ЭСП), при использовании которого требуемая более высокая точность ± 3 мВ достигается простой калибровкой по хлорсеребряному электроду.

В статье также рассмотрены проблемы нормирования ЭСДД по точности и применению. Так, медно-сульфатный электрод (МСЭ) с погрешностью 50 мВ может использоваться на трубопроводах без ограничений, а более точные электроды «иных типов» с погрешностью ± 10 мВ разрешены к применению только «в системах дистанционного коррозионного мониторинга». Авторы делают вывод о необходимости пересмотра нормативной отраслевой документации для введения в измерительную практику более точных и долговечных отечественных электродов.

Ключевые слова: коррозия трубопроводов, электрохимическая защита, катодная поляризация, защитные потенциалы, погрешности измерений, электрод сравнения, вспомогательный электрод.

.....

Yu.A. Ivanov¹, e-mail: ta-ivanov@mail.ru; **V.A. Kolpakov¹**, e-mail: kolpakov99@mail.ru;

S.M. Chukhlantsev¹, e-mail: chuhlantsev@mail.ru; **V.P. Dmitrienko²**, e-mail: dvptsk@mail.ru;

A.S. Maslov³, e-mail: a.maslov@gtt.gazprom.ru

¹ Research and Development enterprise ElectroKhimZatshita LLC (Tomsk, Russia).

² National Research Tomsk Polytechnic University (Tomsk, Russia).

³ Gazprom transgaz Tomsk LLC (Tomsk, Russia).

Experience of Usage of Electrolyteless Dry Electrodes of Comparison for Long Autonomous Operation on Pipelines (DEC-2EChemD)

The article presents the substantiation of the requirements for long-lasting reference electrodes based on the analysis of errors in the method of an auxiliary electrode shutoff, as well as the feasibility of solving this task including the use of DEC-2EChemD electrodes (TU 3435-001-85247759-2012) with a potential of 1000 ± 10 mV over a chlorine-silver electrode. The principle of the electrode operation is based on the use of a micro-galvanic DC source and a potential corrector for its calibration as a potential-determining system. According to the calculations and the pilot operation, the calibration allows maintaining the declared accuracy of ± 10 mV during the entire service life of 30–40 years with its periodicity of 5–10 years.

Based on pilot operation data, the deviation of the potential of DEC-2EChemD electrodes without a corrector did not exceed ± 2 mV in two years in the pipeline section with a low level of stray current and salt content from ± 4 to ± 15 mV in the section with their high level on individual reference measuring instruments. The perspectives of using DEC-2EChemD electrodes as a portable reference electrode, in which the required increased accuracy of ± 3 mV is achieved by a simple calibration of the chlorine-silver electrode, are considered. The standardization of long-lasting reference electrodes for accuracy and application is also discussed in the article. Namely, copper-sulphate electrodes with an error of 50 mV can be used in pipelines without any restrictions. However, more accurate «other types» of electrodes with an error of ± 10 mV are allowed to be used only «in remote corrosion monitoring systems». The authors conclude that it is necessary to revise some regulatory industry documents in the field of import substitution and the introduction of high-quality innovative products.

Keywords: pipeline corrosion, electrochemical protection, cathodic polarization, protective potentials, measurement errors, reference electrode, auxiliary electrode.

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ МЕТОДА ВЭ

Для обоснования требований по точности к ЭСДД как опорному средству измерений (СИ) эффективности электрохимзащиты и оценки возможности решения данной задачи в целом запишем уравнение первичных погрешностей метода ВЭ в следующем виде:

$$\Delta_M = \pm \Delta_{ЭСДД} \pm \Delta_{ВЭ} \pm \Delta_{ИП} \pm \Theta, \quad (1)$$

где Δ_M – суммарная погрешность метода вспомогательного электрода (ВЭ); $\Delta_{ЭСДД}$ – основные погрешности ЭСДД и ВЭ; $\Delta_{ИП}$ – основная погрешность измерительного прибора; Θ – суммарное значение дополнительных погрешностей, вызванных:

- блуждающими токами;
- омическими потерями;
- несоответствием потенциалов коррозии трубы и ВЭ как ее модели;
- несоответствием тока катодной защиты току коррозии;
- использованием грунта как проводника тока;
- неидентичностью коррозионных условий;
- другими факторами, искажающими результаты измерения.

Большое количество дополнительных погрешностей Θ вызвано тем, что метод ВЭ является классическим примером косвенных измерений на модели трубы – ВЭ вследствие невозможности проведения более точных прямых измерений на оголенной стенке трубы.

Погрешности ЭСДД ($\Delta_{ЭСДД}$) и измерительного прибора ($\Delta_{ИП}$) нормируют производители данных средств измерений (СИ), в то время как погрешности $\Delta_{ВЭ}$ и Θ , как и суммарная погрешность метода ВЭ в целом (Δ_M), в действующей нормативно-технической документации не рассматриваются.

Запишем основную погрешность метода ВЭ в следующем общем виде:

$$\Delta_{ВЭ} = \pm E_{\phi} - E_{нд}, \quad (2)$$

где E_{ϕ} – фактическое стационарное значение потенциала ВЭ на конкретном контрольно-измерительном пункте (КИП); $E_{нд} = -0,75$ В по МСЭ – принятое в нормативно-технической документации по умолчанию значение потенциала ВЭ. В зависимости от конкретных условий эксплуатации – содержания кислорода и солей в грунте, наводороживания при перезащите и особенно омеднения под воздействием вытекшего электролита из МСЭ – значение $\Delta_{ВЭ}$ ВЭ по результатам фактически проведенных замеров может отклоняться от принятого до ± 300 мВ за 5–7-летний период эксплуатации. Это многократно превышает допустимую принятую погрешность $\Delta_M = 40$ мВ [1]. Значение потенциала ВЭ является точкой отсчета – «нулем» шкалы для измерений защитных потенциалов, в том числе и для выставления защитного потенциала на станциях катодной защиты (СКЗ). Соответственно, отклонение потенциала от «нуля» приводит

к неправильной установке защитного потенциала с возникновением на трубе недозащиты или перезащиты. Решение задачи снижения скорости коррозии до 0,1–0,02 мм/год за счет повышения эффективности ЭХЗ без учета значения погрешности $\Delta_{ВЭ}$ не представляется возможным. Более того, отсутствие контроля потенциала ВЭ может привести к тому, что электрохимзащита будет ускорять процессы коррозии при формальном соблюдении персоналом компаний соответствующих нормативных документов. Наиболее опасным процессом в плане влияния на точность измерений является омеднение, поскольку при этом ВЭ перестает быть моделью оголенной стенки трубы, а погрешность $\Delta_{ВЭ}$ становится случайной, что практически исключает возможность ее контроля и учета.

Фактический потенциал ВЭ, необходимый для расчета и учета погрешности $\Delta_{ВЭ}$ как систематической ошибки, может быть измерен с помощью ЭСДД, установленного на КИП, поэтому можно принять $\Delta_{ВЭ} = \Delta_{ЭСДД}$. Если пренебречь приборной погрешностью $\Delta_{ИП}$ как малой величиной и при $\Theta = 0$, значение основной погрешности метода ВЭ составит:

$$\Delta_M = \pm 2\Delta_{ЭСДД}. \quad (3)$$

С учетом принятого допустимого значения погрешности измерений потенциала поляризации $\Delta_{ПП} = 40$ мВ [1] для «льготных» условий при $\Theta = 0$ полу-

Ссылка для цитирования (for citation):

Иванов Ю.А., Колпаков В.А., Чухланцев С.М., Дмитриенко В.П., Маслов А.С. Опыт эксплуатации безэлектролитных сухих электродов сравнения длительного действия СЭС-2ЭХЗ // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2017. № 9. С. 22–26.

Ivanov Yu.A., Kolpakov V.A., Chukhlantsev S.M., Dmitrienko V.P., Maslov A.S. Experience of Usage of Electrolyteless Dry Electrodes of Comparison for Long Autonomous Operation on Pipelines (DEC-2EChemD) (In Russ.). Territorija «NEFTEGAZ» = Oil and Gas Territory, 2017, No. 9, P. 22–26.

чим значение допустимой погрешности $\Delta_{\text{ЭСДД}} = \pm 20$ мВ.

Механизмы возникновения дополнительных погрешностей Θ понятны: как и погрешность $\Delta_{\text{ВЭ}}$, они могут меняться как по протяженности трубопровода, так и в зависимости от погодных-сезонных условий. Однако в отличие от погрешности $\Delta_{\text{ВЭ}}$ значение погрешности Θ не может быть обнаружено, измерено и, соответственно, учтено.

Единственным способом учета погрешности Q является снижение погрешности ЭСДД: чем она ниже, тем выше допустимое значение данной погрешности, не приводящее к превышению суммарной погрешности ± 20 мВ. Например, при использовании электрода типа СТЭЛС (США) с $\Delta_{\text{ЭСДД}} = \pm 5$ мВ значение погрешности $\Theta = \pm 15$ мВ.

По нормативно-технической документации (НТД) [4] погрешность потенциала МСЭ не должна превышать ± 20 мВ при изготовлении, а его смещение за 90 сут не должно превышать -30 мВ, что в сумме может составить ± 50 мВ при требуемом сроке службы не менее 15 лет, в течение которого, как показывает опыт, смещение потенциала МСЭ в минус только нарастает со средней скоростью до 50 мВ в зависимости от условий эксплуатации.

Вышеприведенные данные и выводы на их основе подтверждаются комиссионными измерениями фактических значений потенциалов ЭСДД и ВЭ, выполненными в ходе проведения НИОКР для ПАО «Газпром».

В работе [4] МСЭ со смещением потенциала более 60 мВ предлагается считать неисправным, при этом с учетом массовости и длительности эксплуатации МСЭ возникает сложный выбор между заменой электрода и проведением персоналом электрохимзащиты дополнительных измерений с образцовым ЭСП и расчетов «на бумажке» для учета дополнительного смещения.

Это особенно актуально для ряда регионов, характеризующихся высокой коррозионной агрессивностью грунта, значительными сезонными изменениями влажности и температуры грунта, труднодоступных. В таких регионах наиболее важны достоверность и оперативность замеров.

Для решения указанной задачи ООО «НПП ЭлектроХимЗащита» разработало многоцелевой прибор «Кортес», автоматически, без применения ЭСП учитывающий смещение потенциала не только ЭСДД, но и ВЭ при сохранении высокой оперативности измерений. Прибор одновременно измеряет расширенный перечень параметров ЭХЗ, блуждающих токов и грунта, включая все защитные потенциалы, потенциал коррозии, удельное электрическое сопротивление, кислотность и температуру грунта, а также плотность тока катодной защиты, что обеспечивает более достоверную оценку коррозионной ситуации и повышение эффективности ЭХЗ. Встроенная программа прибора исключает необходимость учитывать, какого именно типа ЭСДД установлен на КИП и каково смещение его собственного потенциала от номинального значения.

ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРОДА СЭС-2ЭХЗ

Стационарная модификация электрода СЭС-2ЭХЗ (рис. 1) представляет собой пластиковый цилиндрический корпус 65 x 100 мм с подобранным в ходе теоретических изысканий и экспериментов твердотельным наполнителем. В дно корпуса установлена мембрана, а в крышку вмонтирован ВЭ из трубной стали, имеющий форму кольца с рабочей поверхностью 100 или 625 мм². Есть также вариант цилиндрического корпуса из пористой керамики с конусообразным дном.

Для проведения опытно-промышленной эксплуатации электродов СЭС-2ЭХЗ были определены участки с относительно малым и высоким уровнями коррозионной опасности. Это участок на газопроводе-отводе на ГРС-2 г. Томска Ду 500 (1-я нитка) (участок № 1) и участок МГ «Парабель – Кузбасс» в Кемеровской области (участок № 2). Уровень коррозионной опасности оценивался по результатам натурных измерений блуждающих токов, удельного электрического сопротивления и кислотности грунта на глубине нижней образующей трубы с использованием прибора «Кортес», а также результатами лабораторных анализов проб.

Электроды устанавливались с помощью специальной, простой по конструкции и применению, оснастки в предварительно пробуренный мотобуром шурф диаметром 100 мм на глубину нижней образующей трубы. Измерительные кабели электродов протягивались через отверстие в нижней части стойки КИП и подключались к его измерительной панели. Время установки электрода составляло 20–30 мин в зависимости от плотности грунта.

Контрольные замеры значений потенциалов проводились при установке электродов и в ходе их опытно-промышленной эксплуатации по образцовому лабораторному хлорсеребряному электроду. Образцовый электрод закреплялся в конусообразном корпусе из пористой керамики с традиционным насыщенным раствором хлорида калия. Корпус устанавливался в увлажненный приямок. Значения потенциалов электродов, установленных на участке № 1, были при изготовлении откалиброваны равными 1030 мВ ± 1 мВ по поверенному хлорсеребряному электроду.

После двух лет эксплуатации смещение потенциалов электродов СЭС-2ЭХЗ, установленных на участке № 1, от первоначальных значений не превысило 3 мВ, а разность потенциалов между ними составила 1 мВ (табл. 1). Данные значения потенциалов нельзя квалифи-



Рис. 1. СЭС-2ЭХЗ (стрелкой показан вспомогательный электрод)

Fig. 1. DEC-2EChemD (the auxiliary electrode is shown by the pointer)

цировать как стационарное смещение, поскольку они находятся в диапазоне значений «ошибки опыта» в данных полевых условиях и, возможно, носят случайный характер.

Наблюдаемые на участке № 2 более значимые отличия потенциалов электродов от первоначальных и между собой (табл. 2) вызваны высоким уровнем кислотности грунта и содержания в нем водорастворимых солей, вызывающих смещение потенциала [2], а также тем, что электроды установлены на разных КИП. Кроме того, данный участок характеризуется очень высоким уровнем блуждающих токов, наводимых от контактных сетей железных дорог, работающих на постоянном токе. Железные дороги расположены по периметру вблизи данного участка в виде треугольника. Блуждающие токи вносят в результаты измерений дополнительные систематические и случайные ошибки, которые трудно выделить и учесть. Поэтому фактическое смещение потенциала может быть значительно меньшим. Электрод СЭС-2ЭХЗ достаточно быстро (несколько секунд) реагирует установлением нового значения стационарного потенциала на условия эксплуатации на конкретном КИП, которые, как правило, определяются кислотностью грунта и наличием в нем солей. Эти параметры грунта складываются столетиями и достаточно стабильны, поэтому целесообразно смещение данного потенциала как аддитивную систематическую погрешность измерений устранить путем калибровки электрода при его установке. Калибровка выполняется корректором на кабеле электрода, которым может комплектоваться электрод. Он выполнен в компактном герметичном корпусе и крепится к панели КИП с помощью кронштейна, который одновременно служит измерительной клеммой электрода (рис. 2).

Корректор снабжен номерной пломбой или заливается после установки компаундом, исключая несанкционированное изменение собственного потенциала.

МСЭ в процессе эксплуатации имеет ярко выраженную тенденцию смещения собственного потенциала в минус как в лабораторных условиях [4], так

Таблица 1. Протокол измерений собственного потенциала безэлектrolитных сухих электродов СЭС-2ЭХЗ относительно переносного хлорсеребряного электрода на участке № 1
Table 1. The protocol for measuring the own potential of non-electric dry DEC-2EChemD electrodes according to the portable chlorine-silver electrode at the site No. 1

Участок опытно-промышленной эксплуатации The area of the pilot operation	Собственный потенциал электрода, мВ The electrode's own potential, mV		Отклонение Difference	
	При установке 02.10.2015 After the setup at October 02, 2015	При контрольном измерении 19.05.2017 After the control measurement at May 19, 2017	мВ mV	%
Участок № 1 Area No. 1	1035	1038	3	0,29
	1030	1028	2	0,19

Таблица 2. Результаты измерений собственного потенциала безэлектrolитных сухих электродов СЭС-2ЭХЗ относительно переносного хлорсеребряного электрода на участке № 2
Table 2. The results of the measurements of the own potential of non-electric dry DEC-2EChemD electrodes according to the portable chlorine-silver electrode at the site No. 2

Участок газопровода Gas pipeline section	№ КИП The number of the control and measuring device	Собственный потенциал электрода, мВ The electrode's own potential, mV		Отклонение Difference	
		При установке 09.09.2016 After the setup at September 9, 2016	При контрольном измерении 07.06.2017 After the control measurement at June 7, 2017	мВ mV	%
Участок № 2 Area No. 2	413,0	1005	1001	4	0,4
	414,2	998	983	15	1,5
	414,5	1010	1017	7	0,7
	415,0	1007	1003	4	0,4

и в ходе длительной эксплуатации [3], теоретически до -1 В относительно хлорсеребряного электрода. Собственный потенциал электрода СЭС-2ЭХЗ, по данным лабораторных исследований, аттестационных испытаний [2] и опытно-промышленной эксплуатации, напротив, имеет тенденцию к стабилизации в процессе эксплуатации. В целом при высокой коррозионной агрессивности грунта можно рекомендовать применение электрода СЭС-2ЭХЗ с выносным корректором и проводить



Рис. 2. Корректор и измерительная клемма электрода СЭС-2ЭХЗ

Fig. 2. The corrector and measuring cleat of the DEC-2EChemD electrode

его калибровку при установке. По данным опытно-промышленной эксплуатации и выполненных исследований, а также с учетом консервативного характера условий эксплуатации калибровку целесообразно проводить с периодичностью 5–10 лет при сроке эксплуатации не менее 30 лет. Важно, что при повторной калибровке будет выполняться нарушаемое в настоящее время одно из основных требований закона об обеспечении единства измерений – обязательная периодическая поверка любого средства измерения. Необходимость жесткого периодического контроля точности ЭСДД, особенно в агрессивных грунтах, обусловлена также тем, что суммарная основная погрешность метода ВЭ согласно выражению (3) равна удвоенному значению погрешности электрода. Известные ЭСДД не предусматривают аппаратной коррекции собственного потенциала для снижения погрешности замеров. Полученные результаты измерений корректируются «на месте» дважды: на величину смещения МС ЭСДД, определяемого по переносному

МСЭ, и на величину смещения потенциала ВЭ по стационарному МСЭ, измеряемого после его деполяризации в течение не менее 15 мин.

Сложность такого метода, вызванная отсутствием автоматизированных приборов, способных самостоятельно учесть приведенные факторы, снижает общую производительность труда и достоверность измерений. Это является немаловажным фактором в полевых условиях. Кроме того, возрастает вероятность ошибок измерений, связанных с воздействием человеческого фактора. К переносным МСЭ, как и к стационарным, по сравнению с «иными типами» электродов существующая НТД [4] предъявляет наиболее низкие требования по значению основной погрешности ± 10 мВ.

Причем для достижения указанной точности необходимо приготовить свежий насыщенный раствор медного купороса (2-й класс опасности) и залить его в корпус переносного МСЭ перед началом трассовых измерений.

Кроме того, по классическим метрологическим канонам погрешность ЭСП как средства поверки и контроля ЭСДД с требуемой основной погрешностью ± 10 мВ не должна превышать $\pm (3-4)$ мВ. Наиболее высокой точностью обладает образцовый поверенный хлорсеребряный электрод, но он ненадежен и сложен в эксплуатации в полевых условиях. Этот электрод дорог и требует деликатного обращения, хранения в растворе насыщенного хлорида калия и обустройства защитного колпачка при установке в



Рис. 3. СЭС-2ЭХЗ-Т – переносной вариант электрода сравнения
Fig. 3. DEC-2EChemD – a portable version of the comparison electrode

предварительно приготовленный приемок с водой для выполнения измерений. Применение хлорсеребряных электродов может быть оправдано только необходимостью проведения контрольных замеров, требующих высокой точности. В частности, образцовый поверенный хлорсеребряный электрод с точностью $\pm 0,5$ мВ использовался при апробации и проведении замеров в процессе опытно-промышленной эксплуатации электродов СЭС-2ЭХЗ.

Простотой в эксплуатации характеризуется переносная модификация электрода сравнения СЭС-2ЭХЗ (рис. 3) за счет наличия корректора потенциала в ручке для периодической калибровки. Проведенные испытания показали, что смещение (погрешность) калиброванного значения потенциала переносной модификации электрода СЭС-2ЭХЗ-Т не превышает ± 3 мВ за месяц полевых работ. Корректор позволяет также установить значение потенциала равным -1000 мВ по МСЭ, что упрощает пересчет результатов измерений к общепринятой шкале

МСЭ при традиционных способах замеров.

Для автоматического пересчета результатов измерений к шкале МСЭ разработан также адаптер, включаемый между электродом и измерительным прибором, в том числе с отключением ВЭ от трубы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Повышение качества изоляции трубопроводов создает предпосылки для снижения скорости коррозии трубопроводов до $0,1-0,02$ мм/год. При этом главным условием решения данной задачи является обеспечение точности измерения и регулирования потенциала поляризации в узком диапазоне оптимальных значений $-(100-300)$ мВ. Используемые в настоящее время медно-сульфатные электроды не обладают достаточной точностью и долговечностью.

В то же время электроды сравнения типа СЭС-2ЭХЗ, обладающие высокой точностью и длительным сроком службы, согласно НТД [4] разрешены к весьма ограниченному применению только в системах коррозионного мониторинга. Для повышения уровня экологической и производственной безопасности, снижения затрат на эксплуатацию электрохимзащиты, а также ремонт объектов линейной части трубопроводов целесообразно пересмотреть нормативно-техническую документацию и разрешить повсеместное использование наряду с медно-сульфатными электродами сравнения электродов иных типов, превосходящих их по техническим и эксплуатационным характеристикам.

Литература:

1. Никулин С.А. Повышение эффективности предотвращения коррозии нефтегазопроводов на основе оптимального регулирования режимов работы станций катодной защиты: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ухта, 2015. 22 с.
2. Иванов Ю.А., Колпаков В.А., Чухланцев С.М. и др. Безэлектролитные сухие электроды сравнения для длительной автономной эксплуатации на трубопроводах // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2017. № 4. С. 50–60.
3. Глазов Н.Н. Технические требования к медно-сульфатным электродам сравнения и некоторые аспекты их эксплуатации // Коррозия «Территории «НЕФТЕГАЗ». 2014. № 1. С. 84–95.
4. Технические требования к электродам сравнения для определения потенциалов стальных сооружений. М., 2015.

References:

1. Nikulin S.A. The Increase of the Efficiency of the Corrosion Prevention of Oil and Gas Pipelines Based on the Optimal Regulation of Operation Modes of Cathodic Protection Stations – The author's abstract of the dis. of the Ph.D. of Engineering Sciences. Ukhta, 2015, 22 pp. (In Russian)
2. Ivanov Y.A., Kolkakov V.A., Chuhlanцев S.M., Dmitrienko V.P., Maslov A.S. Non-Electric Dry Electrodes of the Comparison for Long-Term Autonomous Operation on Pipelines. Territorija «NEFTEGAZ» = Oil and Gas Territory, 2017, No. 4, P. 50–60. (In Russian)
3. Glazov N.N. Technical Requirements for Copper-Sulphate Electrodes of the Comparison and Some Aspects of Their Operation. Korroziya Territorii «NEFTEGAZ» = The Corrosion of Oil and Gas Territory, 2014, No. 1, P. 84–95. (In Russian)
4. Technical Requirements for the Electrodes of the Comparison for the Determination the Potential of Steel Structures. Moscow, 2015. (In Russian)