

Научная статья
УДК 620.193

ПРОТОТИП ДОЛГОВЕЧНОГО ТВЕРДОГО МЕДНО-СУЛЬФАТНОГО ЭЛЕКТРОДА СРАВНЕНИЯ

**Владимир Александрович Пупышев¹, Алексей Викторович Попов²,
Павел Александрович Алимпиев³**

¹ Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹⁻³ Газпром трансгаз Екатеринбург, Екатеринбург, Россия

¹ swg1337_vova@mail.ru

² popov79alex@yandex.ru

³ alimpiev.pavel@inbox.ru

Аннотация. Проведен анализ составов имеющихся в использовании медно-сульфатных электродов сравнения. Разработаны составы сухого медно-сульфатного электрода сравнения, а также проведены их лабораторные испытания на соответствие требованиям ГОСТ 9.605–2021. На основании результатов отобран самый стабильный состав.

Ключевые слова: электрод сравнения, электрохимическая коррозия, электрохимический потенциал

Для цитирования: Пупышев В. А., Попов А. В., Алимпиев П. А. Прототип долговечного твердого медно-сульфатного электрода сравнения // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России = Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia : материалы XXII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург : УГЛТУ, 2026. С. 1095–1099.

Original article

PROTOTYPE OF A LONG-LIFE SOLID COPPER SULFATE REFERENCE ELECTRODE

Vladimir A. Pupyshev¹, Alexey V. Popov², Pavel A. Alimpiev³

¹ Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

¹⁻³ Gazprom transgaz Ekaterinburg, Ekaterinburg, Russia

¹ swg1337_vova@mail.ru

² popov79alex@yandex.ru

³ alimpiev.pavel@inbox.ru

Abstract. An analysis of the compositions of copper sulfate reference electrodes in use was carried out. Dry copper sulfate reference electrode compositions

were developed, and laboratory tests were conducted to verify compliance with GOST 9.605–2021. Based on the results, the most stable composition was selected.

Keywords: reference electrode, electrochemical corrosion, electrochemical potential

For citation: Pupyshev V. A., Popov A. V., Alimpiev P. A. (2026) Prototip dolgovechnogo tverdogo medno-sul'fatnogo e'lektroda sravneniya [Prototype of a long-life solid copper sulfate reference electrode]. Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii [Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia] : materials of the XXII All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of undergraduate and postgraduate students. Ekaterinburg : USFEU, 2026. P. 1095–1099. (In Russ).

Для определения защищенности подземных газопроводов от коррозии используются медно-сульфатные электроды сравнения (далее – МЭС). Существует три типа электродов сравнения: жидкостный, гелевый и твердый. Чаще всего используется жидкостный МЭС, т. к. он более прост и дешевле в изготовлении. У такого электрода есть два недостатка: при установке его выше глубины промерзания грунта возможен выход из строя электрода из-за протыкания мембраны электрода образующимися кристаллами льда и купороса, и вода в электролите просачивается сквозь мембрану при растрескивании колбы электрода [1–3].

Целью наших исследований являлась разработка прототипа твердого медно-сульфатного электрода сравнения. Качество работы такого электрода должно определяться его свойствами и характеристиками, отвечающими соблюдению выполнения определенных требований, изложенных в ГОСТ 9.605–2021 «Единая система защиты от коррозии и старения. Электрохимическая защита. Электроды сравнения. Общие технические условия».

В работе при изготовлении твердого МЭС использовали цемент, песок, кристаллический сульфат меди $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ и насыщенный раствор сульфата меди. Внешний вид электрода представлен на рис. 1.

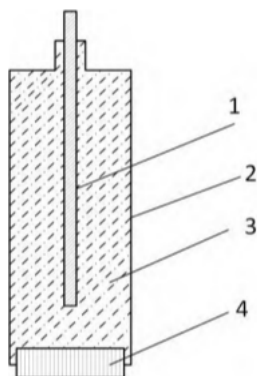


Рис. 1. Схема электрода сравнения: 1 – медный стержень; 2 – пластиковый корпус; 3 – сухая смесь; 4 – деревянная пробка

Сульфат меди используется в качестве основы электролита, оксид кремния (он же песок) нужен в качестве центров кристаллизации цементирующей основы; цемент – для абсорбции воды внутри электрода и дальнейшего затвердевания. Авторами был разработан следующий состав электрода: SiO_2 – 14,29 % (фракция 0,5–1,0 мм), цемент – 14,29 %, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (кристаллы) – 57,13 %, насыщенный раствор CuSO_4 – 14,29 %. Для апробации получаемых данных была изготовлена партия МЭС из трех образцов: МЭС 1, МЭС 2 и МЭС 3.

Для изучения образовавшейся структуры внутри электрода его распилили и полученную поверхность среза сфотографировали с помощью микроскопа при увеличении в десять раз. Полученное изображение, представленное на рис. 2, свидетельствует, что при затвердевании не происходит формирования сплошной пористой цементной массы.

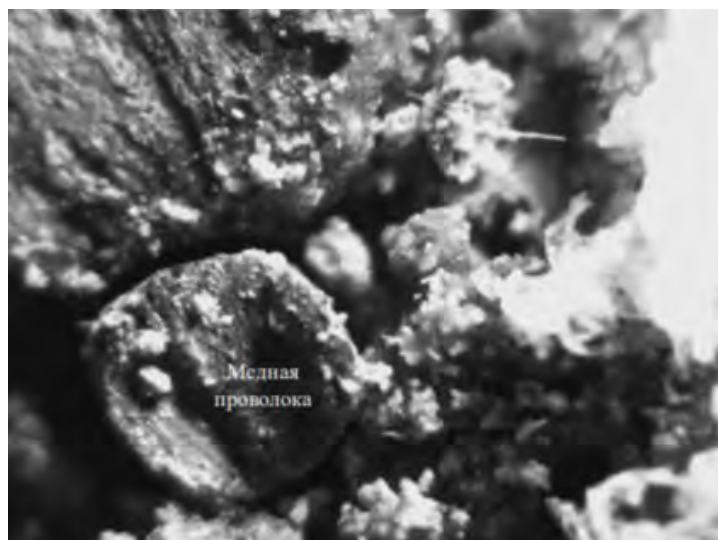


Рис. 2. Изображение структуры электрода, полученное при увеличении в десять раз

После схватывания цементного раствора и высыхания электродов исследовали скорость пропитки электродов в воде и изменение внутреннего сопротивления электродов. Электроды на половину длины (деревянной пробкой вниз) погружали в раствор. Через определенное время их извлекали из воды и измеряли внутреннее сопротивление электрода с помощью прибора SONEL MRU-120. Измерения проводили при комнатной температуре. График изменения сопротивления электродов в течение суток представлен на рис. 3.

Установлено, что внутреннее сопротивление у каждого из трех электродов низкое. Сопротивление электродов существенно снижается примерно через 5 мин нахождения в водном растворе. Таким образом, можно считать, что этого времени достаточно для приведения сухих электродов в рабочее состояние.

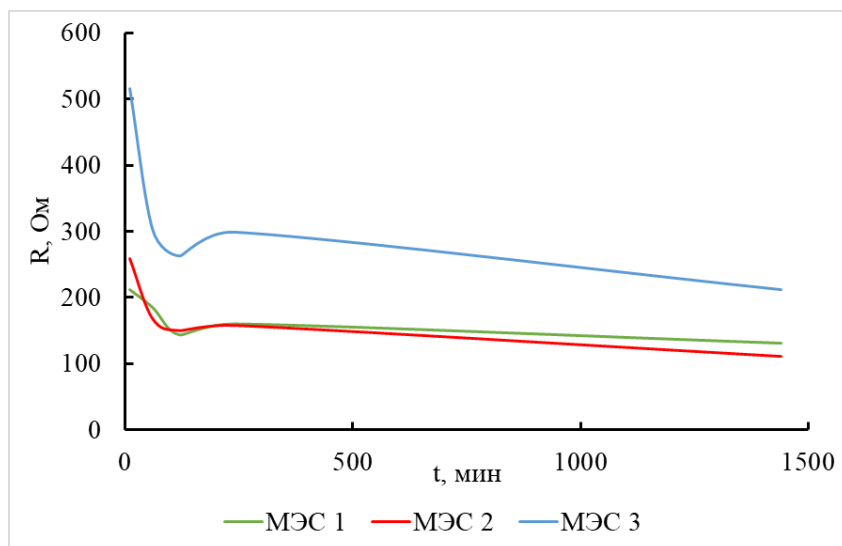


Рис. 3. Изменение внутреннего сопротивления МЭС от времени пропитки водой

Твердые МЭС устанавливаются на стенд (с погружением в модельный раствор) для долговременной регистрации потенциала с целью выяснения стабильности получаемой разницы потенциалов между хлорид-серебряным и медно-сульфатным электродами сравнения. Условия эксперимента позволяют также определять время начала работы сухого электрода после высыхания, а также стабильность потенциала в течение нескольких суток. Результаты измерений представлены на рис. 4.

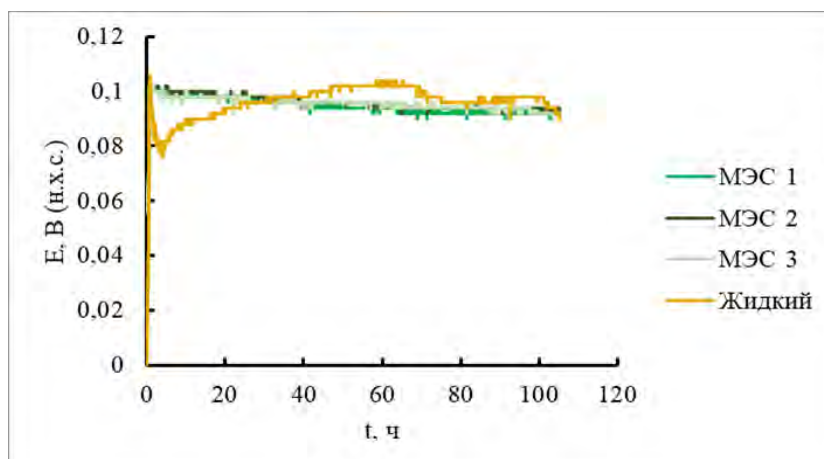


Рис. 4. Длительная регистрация потенциала МЭС относительно хлорид-серебряного электрода

Для того чтобы выяснить, является ли изготовленный нами МЭС неполяризуемым, был поставлен эксперимент, предусматривающий погружение МЭС и образец стали в 3 %-й раствор хлорида натрия и измерение потенци-

ала стали относительно МЭС. Через некоторое время на сталь подавали постоянный ток в течение 20 мин, после чего подача тока прекращалась. Полученные результаты представлены на рис. 5.

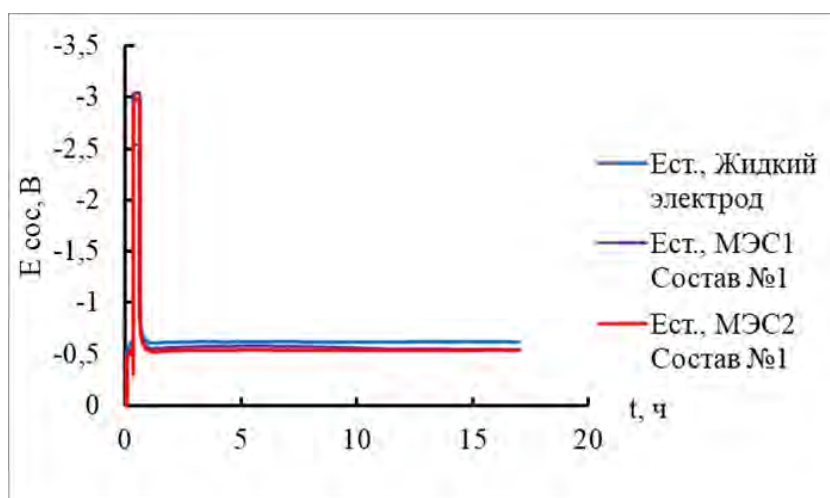


Рис. 5. Зависимость потенциала МЭС при проведении катодной поляризации и последующей деполяризации

Исходя из результатов проведенных исследований, можно сделать вывод, что катодная поляризация никак не влияет на электрохимические свойства МЭС, т. к. бестоковые потенциалы до и после эксперимента равны. Изготовленный авторами твердый медно-сульфатный электрод сравнения соответствует требованиям ГОСТ 9.605–2021 и может успешно применяться для измерения потенциала на подземных трубопроводах.

Список источников

1. Павлов М. Н. Повышение эффективности электрода сравнения ЭНЕС-1 // Проблемы геологии и освоения недр. Томск : Изд-во ТПУ, 2016. Т. 2. С. 940–942.
2. Патент № 2008128694/22 Российская Федерация, МПК C23F 13/00 (2006.01), G01N 17/00 (2006.01). Электрод сравнения длительного действия со стабилизирующей засыпкой : заявл. 14.07.2008 : опубл. 10.12.2008 / Кулаков И. Г., Логвинов А. И., Енин А. А.
3. Патент № 2018108457 Российская Федерация, МПК C23F13/10. Гелевый медно-сульфатный электрод сравнения неполяризующийся : пат. 187916 : заявл. 07.03.2018 : опубл. 22.03.2019. / Кулаков И. Г., Логвинов А. И., Енин А. А.