

УДК 620.193
DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1061-1065

ИЗУЧЕНИЕ КОРРОЗИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ МЕДИ М1 В 0,1 М ИЗОПРОПАНОЛЬНЫХ РАСТВОРАХ ХЛОРОВОДОРОДА В УСЛОВИЯХ ВНЕШНЕЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

© Г.Г. Бердникова, И.А. Шкарбунова

Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина
392000, Российская Федерация, г. Тамбов, ул. Интернациональная, 33
E-mail: berdnikova.gg@mail.ru

Изучено влияние поляризации ($\pm 0,05$; $\pm 0,10$; $\pm 0,15$ В от потенциала коррозии) на массовые потери медного электрода в 0,1 М изопропанольном растворе хлороводорода; получена зависимость коррозионных потерь меди от времени экспозиции образца (2–6 ч, в ряде случаев 0,5–6 ч); проведен химический анализ коррозионной среды после экспозиции образцов на содержание катионов меди (II).

Ключевые слова: электрохимическая коррозия; поляризация электрода; аномальное растворение; эффективный заряд ионов

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

Одним из предметов исследований последних десятилетий являются процессы, происходящие в водно-органических и неводных средах, что связано с внедрением органических растворителей в современную технику. Во многих случаях это позволяет упрощать технологию производства, значительно улучшает качество продукции, позволяет существенно снизить энергозатраты в гидрометаллургии некоторых металлов, в т. ч. и меди.

Исследование кинетических закономерностей растворения металлов в условиях наложения внешнего тока необходимо для совершенствования таких практически важных разделов электрохимии, как гальванотехника, химические источники тока, рафинирование металлов, электрохимическая обработка металлов, а также для более полного понимания процессов, происходящих при коррозии и катодной защите металлов. В связи с этим несомненный интерес представляет изучение закономерностей коррозионного поведения металлов в неводных средах в условиях внешней поляризации.

Целью данной работы является исследование особенностей коррозионного поведения меди в разбавленном изопропанольном растворе хлороводорода при наложении катодного и анодного потенциала вблизи потенциала коррозии как функции времени экспозиции электрода.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследовалась медь марки М1 (99,94 % Cu), рабочий раствор состава $u\text{-C}_3\text{H}_7\text{OH} + 0,1$ М HCl готовили насыщением спирта сухим хлороводородом, получаемым с использованием H_2SO_4 и NaCl, квалификации «х.ч.». Концентрацию HCl определяли титрованием

щелочью в присутствии фенолфталеина, предварительно разбавленных водой проб.

Электрохимические измерения проводились потенциостатическим методом на медном дисковом электроде, впрессованном во фторопласт (потенциостат П5827М, шаг потенциала 20 мВ) по известной методике. Токи, проходящие через систему, регистрировались миллиамперметром М-2020 (класс точности 2). Исследования проводились в трехэлектродной ячейке из стекла «Пирекс» с разделенным анодным и катодным пространством. Электроды сравнения – хлоридсеребряный, вспомогательный – платиновый. Все измеренные потенциалы пересчитаны на шкалу нормального водного водородного электрода.

Определение скорости коррозии проводилось гравиметрическим методом при температуре 20 °С и потенциале коррозии, а также поляризации в катодную область на $\pm 0,05$; $\pm 0,10$; $\pm 0,15$ В от равновесного потенциала на навинчивающемся медном электроде цилиндрической формы, который предварительно тщательно зачищали на шлифовальном круге и обезжиривали ацетоном. Потери массы определяли путем взвешивания на аналитических весах 2-го класса модели ВЛР-М с точностью $\pm 5 \cdot 10^{-5}$ г до и после опыта. Время экспозиции составляло 2–6 ч, для +0,05 В – 0,5–6 ч. Скорость коррозии ($K_{\text{мас}}$) пересчитывали на электрические единицы для сопоставления со скоростью электрохимической коррозии, используя электрохимический эквивалент k , равный для меди в хлоридных средах 2,3881: $I_{\text{кор}} = K_{\text{мас}}/k$, где $k = m_z/F$.

Содержание меди (II) в растворе определяли титрованием трилоном Б в присутствии мурексида. Титр трилона Б по меди устанавливали по стандартному раствору, содержащему 1 мг меди в 1 мл. Раствор готовили посредством растворения точной навески меди марки М1 в концентрированной азотной кислоте и доведении полученного раствора до заданного объема дистиллированной водой.

Эффективный заряд переходящих в раствор ионов в условиях анодной поляризации определяли кулонометрически с использованием медного кулонометра и рассчитывали по формуле:

$$Z_{\text{эф}}^* = \frac{2m_{\text{Cu}}^{\text{кул}}}{m_{\text{Cu}}^{\text{р-р}}},$$

где $Z_{\text{эф}}^*$ – эффективный заряд иона; $m_{\text{Cu}}^{\text{кул}}$ – привес медного кулонометра, г; $m_{\text{Cu}}^{\text{р-р}}$ – потери рабочего электрода, г.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С целью выяснения механизма коррозионного разрушения меди в исследуемой среде были проведены электрохимические и коррозионные испытания на навинчиваемом электроде марки М1 при комнатной температуре как функции времени экспозиции образца в коррозионной среде при потенциале коррозии и в условиях наложения поляризации вблизи коррозионного потенциала ($0 \pm 0,15$ В).

Анализ катодной и анодной поляризационных кривых, полученных в 0,1 М изопропанольном растворе HCl при 20 °С на неподвижном медном электроде показывает, что электрохимическое растворение металла не ограничено диффузией кислорода к поверхности. Скорость электрохимического растворения, определенная по пересечению начальных участков анодной и катодной поляризационных кривых, составляет 0,06 А/м², что существенно ниже предельного тока катодной реакции восстановления (0,72 А/м²).

Коррозионные испытания при потенциале коррозии и в условиях поляризации электрода на 0,05, 0,10 и 0,15 В в область катодных потенциалов получены для времени экспозиции образцов 2, 4 и 6 ч. Коррозионные потери в г/(м²·ч) были пересчитаны на токовые единицы ($i_{\text{кор}}$) и внесены в табл. 1.

Экспериментальные результаты свидетельствуют о том, что скорость коррозии в токовых единицах во всей изученной области потенциалов и времени испытания образца существенно выше скорости электрохимической коррозии ($i_{\text{эх}}$). Поскольку электрохимические измерения проводятся достаточно быстро (~15 мин.) по сравнению с коррозионными испытаниями (от 2 до 6 ч), следовало бы ожидать обратного соотношения между $i_{\text{эх}}$ и $i_{\text{кор}}$, т. к. из литературных данных известно, что коррозия меди в изопропанольных растворах HCl во времени снижается [1–3]. Подобная картина наблюдается как при потенциале свободной коррозии, так и в катодной области потенциалов. Если же в условиях катодной поляризации электрода определять скорость электрохимического растворения меди по продолжению анодной поляризационной кривой в область катодных потенциалов, то последняя должна быть на несколько порядков ниже, чем экспериментально полученная величина.

Из полученных данных (табл. 1) видно, что коррозия меди в исследуемой среде крайне слабо снижается с ростом катодного потенциала, и этот факт вполне согласуется с литературными данными [4–10], полученными ранее для водных сред.

Таблица 1

Зависимость гравиметрической скорости коррозии меди М1 (в токовых единицах) в растворе состава $u\text{-C}_3\text{H}_7\text{OH} + 0,1$ М HCl при температуре 20 °С от времени экспозиции образца в условиях свободной коррозии и при катодной поляризации электрода

Параметр, А/м ²	Время, ч		
	2	4	6
$i_{\text{кор}}, \Delta E = 0$ В	0,48	0,31	0,64
$i_{\text{кор}}, \Delta E = -0,05$ В	0,24	0,20	0,21
$i_{\text{кор}}, \Delta E = -0,10$ В	0,26	0,24	0,16
$i_{\text{кор}}, \Delta E = -0,15$ В	0,57	0,25	0,17

Согласно законам электрохимической кинетики при смещении электродного потенциала металла в отрицательном направлении, скорость его анодного растворения должна уменьшаться по экспоненциальному закону. Практика показывает, что при катодной поляризации скорость растворения металла иногда оказывается больше, чем принято ожидать. Наблюдаемый эффект связывают обычно с химическим взаимодействием металла с коррозионной средой либо объясняют с привлечением термодинамических закономерностей и теории химического сопряжения анодного и катодного процессов. Действительно, если бы коррозия меди протекала только по формальному электрохимическому механизму, то в области катодных потенциалов никаких коррозионных потерь зафиксировать бы не удалось, в то время как они значительны (табл. 1).

Из данных табл. 1 следует, что в катодной области потенциалов независимо от глубины поляризации, также как и при потенциале коррозии, растворение меди в $u\text{-C}_3\text{H}_7\text{OH} + 0,1$ М HCl во времени снижается. В [4] было показано, что скорость аномального растворения меди в водных кислых средах сильно изменяется во времени: вначале она велика и положительна, затем уменьшается до нуля и принимает отрицательные значения, и только через 23 ч вновь становится практически равной нулю. Столь специфическое поведение, как полагают в [4], является результатом двух противоположно направленных процессов: растворения меди и катодного осаждения окисленной меди.

Химический анализ коррозионной среды на содержание катионов меди после экспозиции образцов в катодной области потенциалов свидетельствует о достаточно хорошей корреляции с результатами гравиметрических испытаний (табл. 2). Следовательно, продукты коррозии меди хорошо растворимы. Предполагается, что продуктами окисления меди в условиях катодной поляризации являются поверхностные оксиды, которые в кислых средах растворяются, а в нейтральных и щелочных образуют фазовый оксид меди (I) [11]. Растворение меди непосредственно до хлоридных или других комплексов, минуя стадию образования кислородсодержащих соединений, маловероятно, по мнению авторов [11] маловероятно, т. к. скорость аномального растворения меди и в кислых хлоридных и в сульфатных растворах одинакова. Она возрастает с увеличением кислотности раствора [4] и снижается практически до нуля в нейтральных средах из-за образования на поверхности катода оксида Cu_2O .

Таблица 2

Потери массы образца меди М1 ($m \cdot 10^4$, г) по результатам гравиметрических испытаний (числитель) и содержание ионов меди (II) по химическому анализу коррозионной среды (знаменатель) в растворе состава $u\text{-C}_3\text{H}_7\text{OH} + 0,1 \text{ M HCl}$ как функция времени экспозиции образца и глубины поляризации электрода

ΔE , В	2 часа	4 часа	6 часов
0,00	5,5 / 5,7	8,5 / 8,8	11,0 / 13,0
-0,05	4,5 / 5,6	7,0 / 7,9	10,0 / 9,5
-0,10	3,5 / 4,6	7,4 / 8,9	11,0 / 10,5
-0,15	5,5 / 5,7	8,0 / 8,5	10,0 / 11,4

Таблица 3

Зависимость тока коррозии и эффективного заряда переходящих в раствор ионов меди от поляризации электрода в системе $u\text{-C}_3\text{H}_7\text{OH} + 0,1 \text{ M HCl}$.
Время экспозиции – 2 часа

Параметр	Глубина поляризации, ΔE , В		
	+0,05	+0,10	+0,15
$i_{\text{корр}}$, А/м ²	0,57	0,50	0,19
$Z_{\text{эф}}$	0,94	1,05	1,16

В области анодных потенциалов коррозионные испытания проводились в течение двух часов. Параллельно гравиметрическим измерениям с помощью медного кулометра были получены эффективные заряды переходящих в раствор ионов. Результаты исследований представлены в табл. 3, анализ которых показывает, что с увеличением глубины анодной поляризации электрода коррозионные потери в токовых единицах удовлетворительно коррелируют с соответствующими величинами скорости анодного растворения. Эффективный заряд переходящих в раствор ионов близок к единице, что согласуется с литературными данными, поскольку медь в хлоридных средах растворяется до одновалентных ионов.

Отметим, что ростом анодного тока величина эффективного заряда ионов также увеличивается, приближаясь к теоретическому значению, однако вблизи потенциала коррозии (+0,05 В) ее значение меньше единицы. Поэтому в настоящей работе более подробно исследовалась скорость коррозии меди во времени именно для данной глубины анодной поляризации электрода. Результаты испытаний приведены в табл. 4, из которой видно, что гравиметрическая скорость коррозии практически постоянна во всем изученном временном интервале, а эффективный заряд переходящих в раствор ионов слабо, но закономерно снижается. Поскольку ионы меди (I) в присутствии кислорода воздуха легко окисляются до двухвалентных ионов, можно предположить, что именно их накопление в коррозионной среде может влиять на результаты испытаний. Даже в случае небольших добавок ионов Cu^{2+} доля реакции репропорционирования (1) достаточно велика, и роль ее тем выше, чем больше концентрация Cu^{2+} в растворе:

Таблица 4

Зависимость гравиметрической скорости коррозии меди М1 (в массовых и токовых единицах) и эффективного заряда переходящих в раствор ионов в системе состава $u\text{-C}_3\text{H}_7\text{OH} + 0,1 \text{ M HCl}$ при анодной поляризации электрода ($\Delta E = 0,5 \text{ В}$) от времени экспозиции образца. Температура 20 °С

Время, ч	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
$K_{\text{грав}}$, г/(м ² ·ч)	1,48	1,50	1,36	1,94	1,43	1,31	1,56
$i_{\text{корр}}$, А/м ²	0,62	0,6	0,57	0,82	0,60	0,55	0,65
$Z_{\text{эф}}$	1,02	0,95	0,94	0,90	0,86	0,80	0,74



Так, согласно [12] доля неэлектрохимической составляющей (η_x) увеличивается симбатно снижению величины $Z_{\text{эф}}$

$$\eta_x = 1 - Z_{\text{эф}}, \quad (2)$$

что и наблюдается экспериментально в настоящей работе с увеличением концентрации продуктов коррозии и глубины анодной поляризации электрода (табл. 4).

Отметим сложное влияние продуктов растворения меди, в частности, одноименных ионов, в коррозионном процессе. С одной стороны возможно растворение меди до ионов разной валентности (Cu^+ , Cu^{2+}) и образование комплексных ионов с разным числом хлорид-анионов в качестве лигандов, а с другой – возможно непосредственное участие продуктов растворения меди как в катодной реакции восстановления (3), так и в химическом взаимодействии с металлической поверхностью (1) по реакции репропорционирования [13]



Таким образом, анализ экспериментальных результатов указывает на многоаспектное влияние продуктов коррозии при саморастворении медного электрода в 0,1 М изопропанольных растворах хлороводорода, существенная роль которых состоит в непосредственном химическом взаимодействии с поверхностью металла. Последнее обстоятельство необходимо учитывать при проектировании замкнутых систем медного оборудования, эксплуатация которых может привести к накоплению в результате коррозионных процессов ионов двухвалентной меди.

ВЫВОДЫ

1. Изучено влияние поляризации медного электрода вблизи потенциала коррозии ($0 \pm 0,15 \text{ В}$) на коррозионные потери в 0,1 М изопропанольном растворе хлороводорода. Установлено, что скорость коррозии в 0,1 М изопропанольном растворе хлороводорода при потенциале коррозии и в условиях катодной поляризации (ΔE от -0,05 до -0,15 В) снижаются во времени (2–6 ч). В условиях анодной поляризации ($\Delta E = +0,05 \text{ В}$) скорость коррозии меди не зависит от времени экспозиции образца (0,5–6 ч).

2. Исследована коррозионная среда на содержание катионов меди (II) как функция времени экспозиции в 0,1 М изопропанольном растворе хлороводорода. Показана удовлетворительная корреляция результатов гравиметрических испытаний и химического анализа коррозионной среды в условиях катодной поляризации электрода, что свидетельствует о хорошей растворимости продуктов коррозии.

3. Кулонометрическим методом получены величины эффективных зарядов переходящих в раствор ионов меди. Показано, что они приближаются к единице с увеличением глубины анодной поляризации электрода. В случае неглубокой анодной поляризации ($\Delta E = +0,05$ В) величина $Z_{эф} < 1$ и закономерно снижается во времени, что интерпретировано влиянием продуктов ионизации меди.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цыганкова Л.Е., Бердникова Г.Г., Вигдорovich В.И., Машкова Т.П. Анодная ионизация меди в растворах изо-С₃H₇ОН-Н₂O-HCl // Электрохимия. 1998. Т. 34. № 8. С. 848-854.
2. Бердникова Г.Г., Машкова Т.П., Ермолова Е.Е. Коррозия и электрохимическое поведение меди в системе HCl-пропанол-2-H₂O // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 1997. Т. 2. Вып. 1. С. 12-18.
3. Лаврушкина Н.В., Бердникова Г.Г. Исследование механизма коррозии меди в 0,1 М изопропанольных растворах хлороводорода // Державинские чтения. Сборник трудов института естествознания. Тамбов: ТГУ, 2006. С. 16-17.
4. Крейзер И.В., Тутукина Н.М., Зарцын И.Д., Маршаков И.К. Растворение меди при катодной поляризации в кислых хлоридных средах // Защита металлов. 2002. Т. 38. № 3. С. 261-267.
5. Маршаков А.И., Рыбкина А.А., Чеботарева Н.П. Об эффекте аномального растворения металлов: кинетика растворения железа в кислых сернокислых электролитах при катодной поляризации // Защита металлов. 1997. Т. 33. № 6. С. 590-596.
6. Маршаков И.К., Введенский А.В., Конорашин В.Ю., Боков Г.А. Анодное растворение и селективная коррозия сплавов. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1988. 188 с.
7. Зарцын И.Д., Шугуров А.Е., Маршаков И.К. Парциальные реакции окисления металла и восстановления окислителя при адсорбционно-химическом взаимодействии их компонентов // Защита металлов. 1997. Т. 33. № 5. С. 407-412.
8. Зарцын И.Д., Шугуров А.Е., Маршаков И.К. Аномальное растворение железа как результат химического сопряжения процессов ионизации железа и выделения водорода // Защита металлов. 2001. Т. 37. № 2. С. 159-164.
9. Крейзер И.В., Тутукина Н.М., Зарцын И.Д., Маршаков И.К. Влияние кислорода на растворение меди при катодной поляризации // Защита металлов. 2003. Т. 39. № 1. С. 35-39.
10. Крейзер И.В., Маршаков И.К., Тутукина Н.М., Зарцын И.Д. Парциальные реакции растворения меди при катодной поляризации в кислых средах // Защита металлов. 2004. Т. 40. № 1. С. 28-30.
11. Введенский А.В., Маршаков И.К. Термодинамика и кинетика коррозии меди в разбавленных хлоридных растворах и обессоленной воде // Защита металлов. 1983. Т. 19. № 2. С. 282-287.
12. Вигдорovich В.И., Цыганкова Л.Е. Растворение хрома в кислых спиртовых средах // Защита металлов. 1991. Т. 27. № 1. С. 40-43.
13. Бердникова Г.Г., Дудина Г.В. Влияние одноионных ионов на растворения медного электрода в условиях катодной поляризации в 0,1 М изопропанольных растворах HCl // Сборник научных трудов Института естествознания. Тамбов: ТГУ, 2008. Вып. 1. С. 20-31.

Поступила в редакцию 24 мая 2016 г.

Бердникова Галина Геннадьевна, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, кандидат химических наук, доцент кафедры химии и экологической безопасности, e-mail: berdnikova.gg@mail.ru

Шкарбунова Ирина Александровна, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, магистрант по направлению подготовки «Химия», e-mail: ishkarbunova@mail.ru

UDC 620.193

DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1061-1065

STUDY OF CORROSION BEHAVIOUR OF COPPER M1 IN 0.1 M ISOPROPANOL SOLUTION OF HYDROGEN CHLORIDE IN THE CONDITIONS OF EXTERNAL POLARIZATION

© G.G. Berdnikova, I.A. Shkarbunova

Tambov State University named after G.R. Derzhavin

33 Internatsionalnaya St., Tambov, Russian Federation, 392000

E-mail: berdnikova.gg@mail.ru

The influence of the polarization ($\pm 0,05$; $\pm 0,10$; $\pm 0,15$ V from the corrosion potential) on the mass loss of copper electrode in 0.1 M isopropanol solution of hydrogen chloride is studied; the resulting dependence of corrosion losses of copper from the exposure time of the sample (2 to 6 hours, in some cases, about 0.5–6 hours) is received; chemical analysis of the corrosive environment after exposure of samples on the content of cations of copper (II) is carried out.

Keywords: electrochemical corrosion; electrode polarization; anomalous dissolution; effective charge of ions

REFERENCES

1. Tsygankova L.E., Berdnikova G.G., Vigdorovich V.I., Mashkova T.P. Anodnaya ionizatsiya medi v rastvorakh izo-C₃H₇OH-H₂O-HCl [Anodic ionization of copper in solutions izo-C₃H₇OH-H₂O-HCl]. *Elektrokimiya – Russian Journal of Electrochemistry*, 1998, vol. 34, no. 8, pp. 848-854. (In Russian).
2. Berdnikova G.G., Mashkova T.P., Ermolova E.E. Korroziya i elektrokhimicheskoe povedenie medi v sisteme HCl-propanol-2-H₂O [Corrosion and electrochemical behavior of copper in system HCl-Propanol-2-H₂O]. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya Estestvennyye i tekhnicheskie nauki – Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*. Tambov, 1997, vol. 2, no. 1, pp. 12-18. (In Russian).
3. Lavrushkina N.V., Berdnikova G.G. Issledovanie mekhanizma korrozii medi v 0,1 M izopropanol'nykh rastvorakh khlorovodoroda [Mechanism research of copper corrosion in 0.1 M of isopropanol solutions of hydrogen chloride]. *Derzhavinskie chteniya. Sbornik trudov instituta estestvoznaniya* [Derzhavin Readings. A Collection of Works of Natural Science Institute]. Tambov, Tambov State University Publ., 2006, pp. 16-17. (In Russian).
4. Kreyzer I.V., Tutukina N.M., Zartsyn I.D., Marshakov I.K. Rastvorenie medi pri katodnoy polarizatsii v kislykh khloridnykh sredakh [The dissolution of a copper cathode in acidic chloride solutions]. *Zashchita metallov – Protection of Metals*, 2002, vol. 38, no. 3, pp. 261-267. (In Russian).
5. Marshakov A.I., Rybkina A.A., Chebotareva N.P. Ob effekte anomal'nogo rastvoreniya metallov: kinetika rastvoreniya zheleza v kislykh sernokislykh elektrolitakh pri katodnoy polarizatsii [To the effect of anomalous dissolution of metals: kinetics of iron dissolution in sulfuric acid electrolytes under cathodic polarization]. *Zashchita metallov – Protection of Metals*, 1997, vol. 33, no. 6, pp. 590-596. (In Russian).
6. Marshakov I.K., Vvedenskiy A.V., Kondrashin V.Yu., Bokov G.A. Anodnoe rastvorenie i selektivnaya korroziya splavov [Anodic Dissolution and Selective Corrosion of Alloys]. Voronezh, Voronezh State University Publ., 1988, pp. 188. (In Russian).
7. Zartsyn I.D., Shugurov A.E., Marshakov I.K. Partzial'nye reaktsii okisleniya metalla i vosstanovleniya okislitelya pri adsorbtionno-khimicheskom vzaimodeystvii ikh komponentov [Partial reactions of the oxidation of metal and the reduction of oxidizer during adsorption-chemical interaction of their components]. *Zashchita metallov – Protection of Metals*, 1997, vol. 33, no. 5, pp. 407-412. (In Russian).
8. Zartsyn I.D., Shugurov A.E., Marshakov I.K. Anomal'noe rastvorenie zheleza kak rezul'tat khimicheskogo sopryazheniya protsessov ionizatsii zheleza i vydeleniya vodoroda [The anomalous dissolution of iron as a result of the chemical conjugation between iron ionization and hydrogen evolution]. *Zashchita metallov – Protection of Metals*, 2001, vol. 37, no. 2, pp. 159-164. (In Russian).
9. Kreyzer I.V., Tutukina N.M., Zartsyn I.D., Marshakov I.K. Vliyanie kisloroda na rastvorenie medi pri katodnoy polarizatsii [The Effect of Oxygen on Copper Dissolution during Cathodic Polarization]. *Zashchita metallov – Protection of Metals*, 2003, vol. 39, no. 1, pp. 35-39. (In Russian).
10. Kreyzer I.V., Marshakov I.K., Tutukina N.M., Zartsyn I.D. Partzial'nye reaktsii rastvoreniya medi pri katodnoy polarizatsii v kislykh sredakh [Partial reactions of copper dissolution under cathodic polarization in acidic media]. *Zashchita metallov – Protection of Metals*, 2004, vol. 40, no. 1, pp. 28-30. (In Russian).
11. Vvedenskiy A.V., Marshakov I.K. Termodinamika i kinetika korrozii medi v razbavlennykh khloridnykh rastvorakh i obessolennoy vode [Physics of heat and kinetics of copper corrosion in tenuous chloride solution and saline-free water]. *Zashchita metallov – Protection of Metals*, 1983, vol. 19, no. 2, pp. 282-287. (In Russian).
12. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E. Rastvorenie khroma v kislykh spirtovykh sredakh [Dissolution of chromium in acid spirit mediums]. *Zashchita metallov – Protection of Metals*, 1991, vol. 27, no. 1, pp. 40-43. (In Russian).
13. Berdnikova G.G., Dudina G.V. Vliyanie odnoimennykh ionov na rastvoreniya mednogo elektroda v usloviyakh katodnoy polarizatsii v 0,1 n izopropanol'nykh rastvorakh HCl [Influence of same ions on solution of copper electrode in the conditions of cathodic polarization in 0.1 n isopropanol solutions HCl]. *Sbornik nauchnykh trudov Instituta estestvoznaniya* [A Collection of Scientific Articles of Natural Science Institute]. Tambov, Tambov State University Publ., 2008, vol. 1, pp. 20-31. (In Russian).

Received 24 May 2016

Berdnikova Galina Gennadevna, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Candidate of Chemistry, Associate Professor of Chemistry and Environmental Safety Department, e-mail: berdnikova.gg@mail.ru
 Shkarbunova Irina Aleksandrovna, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Master's Degree Student of Training Direction Chemistry, e-mail: ishkarbunova@mail.ru

Для цитирования: Бердникова Г.Г., Шкарбунова И.А. Изучение коррозионного поведения меди М1 в 0,1 М изопропанольных растворах хлороводорода в условиях внешней поляризации // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2017. Т. 22. Вып. 5. С. 1061-1065. DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1061-1065

For citation: Berdnikova G.G., Shkarbunova I.A. Izuchenie korrozionnogo povedeniya medi M1 v 0,1 M izopropanol'nykh rastvorakh khlorovodoroda v usloviyakh vneshey polarizatsii [Study of corrosion behaviour of copper M1 in 0.1 M isopropanol solution of hydrogen chloride in the conditions of external polarization]. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya Estestvennyye i tekhnicheskie nauki – Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*, 2017, vol. 22, no. 5, pp. 1061-1065. DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1061-1065 (In Russian, Abstr. in Engl.).