



КОРРОЗИЯ И ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ – ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

CORROSION AND CORROSION PROTECTION – GENERAL ISSUES

Тип статьи: научная, оригинальная

Article type: original

<https://doi.org/10.31615/j.corros.prot.2025.116.2-5>

Коррозионная стойкость свинца, легированного медью, в растворе хлорида натрия

**С.У. Худойбердизода^{1✉}, И.Н. Ганиев¹, Дж.Х. Джайлоев¹,
С.Ю. Киреев^{2✉}, А.З. Янгуразова², Ю.Н. Кирилина^{2✉}, М.Н. Муллоева³**

¹Институт химии имени В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана, Республика Таджикистан, 734063 г. Душанбе, ул. Айни, д. 299/2

²Политехнический институт Пензенского государственного университета, РФ, 440026, г. Пенза, ул. Красная, д. 40,

³Центр по исследованию инновационных технологий НАН Таджикистана, Республика Таджикистан, 734063 г. Душанбе, ул. Айни, д. 299/3

e-mail: saidmir010992@mail.ru; Dean_fptet@pnzgu.ru; kirilina.julija@yandex.ru

Аннотация. Свинец — очень пластичный металл, широко применяемый в промышленности как в чистом виде, так и в виде сплавов с другими компонентами. Высокая стойкость свинца против коррозии во многих минеральных кислотах обусловила его широкое применение в химической промышленности для облицовки химической аппаратуры, трубопроводов и емкостей, для горячего свинцевания вместо лужения. Свинец стоек против коррозии потому, что на его поверхности образуется пленка гидроксида при контакте с воздухом и пленка сернистого свинца при соприкосновении с серной кислотой. В настоящей работе представлены результаты исследования электрохимической коррозии сплавов свинца с медью в среде 0,03, 0,3 и 3,0%-ного растворов *NaCl*. Коррозионно-электрохимические исследования сплавов проведены на потенциостате ПИ-50-1.1 в потенциодинамическом режиме при скорости развертки потенциала 2 мВ/с. Показано, что легирование свинца медью повышает его коррозионную устойчивость на 15...20 %. Основные электрохимические потенциалы свободной коррозии, питтингообразования и репассивации процесса коррозии свинца при легировании медью смещаются в положительную область значений, а с ростом концентрации хлорида натрия — уменьшаются.

Ключевые слова: свинец, медь, среда *NaCl*, скорость коррозии, электрохимические потенциалы

Для цитирования: Худойбердизода С.У., Ганиев И.Н., Джайлоев Дж.Х., Киреев С.Ю., Янгуразова А.З., Кирилина Ю.Н., Муллоева М.Н. Коррозионная стойкость свинца, легированного медью, в растворе хлорида натрия // Практика противокоррозионной защиты. — 2025. — Т. 30, № 2. — С. 56-63. <https://doi.org/10.31615/j.corros.prot.2024.116.2-5>

Статья получена 21.01.2025. Принята к публикации 27.04.2025. Опубликовано 01.06.2025.

Corrosion Resistance of Copper-Doped Lead in Sodium Chloride Solution

**Saidmiri U. Khudoyberdizoda^{1✉}, Izatullo N. Ganiev¹, Jamshed H. Dzhayloev¹,
Sergey Yu. Kireev^{2✉}, Alfiya Z. Yangurazova², Yulia N. Kirilina^{2✉}, Nukra N. Mullaeva³**

¹V.I. Nikitin Chemistry Institute of the National Academy of Sciences of Tajikistan, 299/2, Sadriddin Aini st., Dushanbe, 734063, Republic of Tajikistan

²Penza State University, 40, Krasnaya str., Penza, 440026, Russian Federation

³Center for Research of Innovative Technologies of the National Academy of Sciences of Tajikistan, 299/3, Sadriddin Aini st., Dushanbe, 734063, Republic of Tajikistan

e-mail: saidmir010992@mail.ru; Dean_fptet@pnzgu.ru; kirilina.julija@yandex.ru

Annotation. Lead is a very ductile metal and is widely used in industry both in its pure form and in the form of alloys with other components. The high resistance of lead against corrosion in many mineral acids has led to its widespread use in the chemical industry for lining chemical equipment, pipelines and containers, for hot leading instead of tinning. Lead is resistant to corrosion because a film of hydroxide forms on its surface upon contact with air and a film of lead sulfate upon contact with sulfuric acid.

This paper presents the results of a study of the electrochemical corrosion of lead-copper alloys in an electrolyte medium of 0.03, 0.3 and 3.0% NaCl. Corrosion and electrochemical studies of the alloys were carried out by the potentiostatic method on a PI-50-1.1 potentiostat in a potentiodynamic mode at a potential sweep rate of 2 mV/s. It has been shown that alloying lead with copper increases its corrosion resistance by 15...20%. The main electrochemical potentials of free corrosion, pitting formation and repassivation of the lead corrosion process during copper alloying shift to a positive range of values, and decrease from the concentration of sodium chloride.

Keywords: lead, copper, NaCl medium, corrosion rate, electrochemical potentials

For citation: Khudoyberdizoda, S. U., Ganiev, I. N., Dzhayloev, J. H., Kireev, S. Yu., Yangurazova, A. Z., Kirilina, U. N. & Mullaeva, M. N. (2025) Corrosion Resistance of Copper-Doped Lead in Sodium Chloride Solution. *Theory and Practice of Corrosion Protection*, 30 (2), 56-63. <https://doi.org/10.31615/j.corros.prot.2024.116.2-5>

Received January 21, 2025. Accepted for publication April 27, 2025. Published June 01, 2025.

Введение

Несмотря на ограничения или запрет практического применения в электротехническом, электронном, медицинском оборудовании свинца, кадмия, ртути, соединений шестивалентного хрома и ряда других наиболее опасных с токсикологической и экологической точек зрения веществ [1-5], в настоящее время найти полноценную альтернативу в ряде случаев не представляется возможным.

Так, например, свинец, благодаря своим физико-химическим свойствам (высокая коррозионная стойкость в растворах серной кислоты, низкая температура плавления, высокие антифрикционные свойства и др.), применяется при производстве стартерных аккумуляторных батарей, экранов для защиты от ионизирующего излучения, элементов подшипников, входит в состав эвтектических сплавов в электронной и атомной промышленности, а также для изготовления свинцово-резиновых демпферов зданий и оборудования в сейсмоопасных районах [6-11].

В 2019 году компания MAYCO International представила перечень из десяти материалов, получивших широкое применение в автомобильной индустрии. В этом списке значатся такие материалы, как сталь, пластик, алюминий, резина, стекло, стекловолокно, свинец, медь, титан и магний [12].

Изучение поведения металла в различных условиях, как под действием внешней поляризации, так и без нее, имеет важное значение как с научной, так и с практической точки зрения [13].

На коррозионное поведение свинца оказывает значительное влияние природа и концентрация легирующих элементов [14]. Механизмы влияния легирующих компонентов на свойства полученного материала различны. С одной стороны, введение легирующего компонента приводит к изменению электрохимического потенциала материала, а, следовательно, и к изменению его коррозионного поведения. С другой стороны, легирующий компонент может приводить к значительному изменению структуры свинца, что влияет на физико-механические свойства сплава, а также на скорость его коррозии [13, 14].

В литературе не имеется каких-либо данных о коррозионных свойствах свинца, легированного медью, в среде 3%-ного раствора хлорида натрия, которая в ряде случаев выступает как модельная морская среда. Однако известно, что стойкость свинца зависит от изменения его структуры при легировании, то есть от величины кристаллов сплава [14].

Цель работы заключается в исследовании коррозионно-электрохимического поведения свинца, легированного медью, в растворах хлорида натрия различной концентрации.

Материалы и методика исследования

Сплавы для исследования анодных свойств получали из свинца марки С2 (ГОСТ 3778-98), меди марки М00 (ГОСТ 859-66) в шахтных лабораторных печах сопротивления типа СШОЛ. Шихтовку сплавов проводили с учётом угара свинца и легирующей добавки в электрических шахтных печах.

Дальнейшим исследованиям подвергали сплавы, вес которых отличался от веса шихты не более чем на 1 %_{отн.} Из полученных сплавов в графитовой изложнице отливали цилиндрические образцы диаметром 8 мм и длиной 140 мм, торцевая часть которых служила рабочим электродом [15-18].

Электрохимические исследования свинцовых сплавов проводили на импульсном потенциостате ПИ-50-1.1 в потенциодинамическом режиме со скоростью развёртки потенциала 2мВ/с с программатором ПР-8 и самописцем ЛКД-4. Температура в ходе эксперимента поддерживалась термостатом на уровне 20 °С. Электродом сравнения служил хлоридсеребряный, вспомогательным – платиновый. Полученные значения электродных потенциалов пересчитывали относительно стандартного водородного электрода.

Для электрохимических исследований образцы поляризовали в потенциодинамическом режиме в положительном направлении от потенциала, установившегося при погружении в исследуемый раствор ($E_{ст.}$ ($E_{ст.}$)) – стационарный потенциал), до значения потенциала, при котором происходит резкое возрастание плотности тока -1 A/m^2 (рис. 1, кривая 1). Затем образцы поляризовали в обратном направлении (рис. 1, кривая 2) и по пересечению кривых I и II определяли величину потенциала репассивации. Далее потенциал смещался в катодную область до значения $-0,590 \text{ В}$, в результате чего происходило подщелачивание в приэлектродном слое поверхности образца (рис. 1, кривая 2), после чего происходило смещение потенциала в катодную область (рис. 1, кривая 3) для катодного восстановления оксидного слоя. Наконец, образцы повторно поляризовали в положительном направлении (рис. 1, кривая 4). При переходе от катодного к анодному ходу определялся потенциал питтингообразования ($E_{п.о.}$ ($E_{питт.}$)). По ходу прохождения полной поляризационной кривой определяли следующие электрохимические параметры: $E_{ст.}$ ($E_{ст.}$) – стационарный потенциал; $E_{п.о.}$ ($E_{р.п.}$) – потенциал репассивации; $E_{п.о.}$ ($E_{питт.}$) – потенциал питтингообразования (или потенциал пробоя) после катодной поляризации; $E_{корр}$ – потенциал коррозии; $i_{корр}$ – ток коррозии.

Скорость коррозии (K) как основной показатель коррозионной устойчивости рассчи-

тывался по формуле (1):

$$K = i_{корр} \cdot k, \quad (1)$$

где $k = 1,93 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$ – электрохимический эквивалент свинца, с учётом касательной к Таффелевской кривой $b_k = 0,12 \text{ В}$.

Результаты исследований и их обсуждение

Подробная методика электрохимического исследования сплавов приведены в работах [19, 20]. В качестве примера на рис. 1 приведена полная поляризационная диаграмма для чистого свинца в среде 3%-ного NaCl . Аналогичные исследования выполнены со свинцовым электродом, легированным медью (0,01...0,5 %_{масс.}) в растворах хлорида натрия различной концентрации.

На рис. 2 приведена зависимость стационарного потенциала от времени для свинца, легированного медью. Видно, что как для чистого свинца, так и для его сплавов с медью, независимо от времени погружения образцов в раствор NaCl , характерно смещение стационарного потенциала в положительную область. При этом стабилизация стационарного потенциала наблюдалась в течение 30...40 мин. Так, после одного часа выдержки в растворе 3%-ного NaCl , величина стационарного потенциала чистого свинца равняется $-0,562 \text{ В}$, а у сплава, содержащего 0,5 %_{масс.} Cu , составляет $-0,509 \text{ В}$. Смещение $E_{ст.}$ в положительную область свидетельствует о динамике процесса форми-

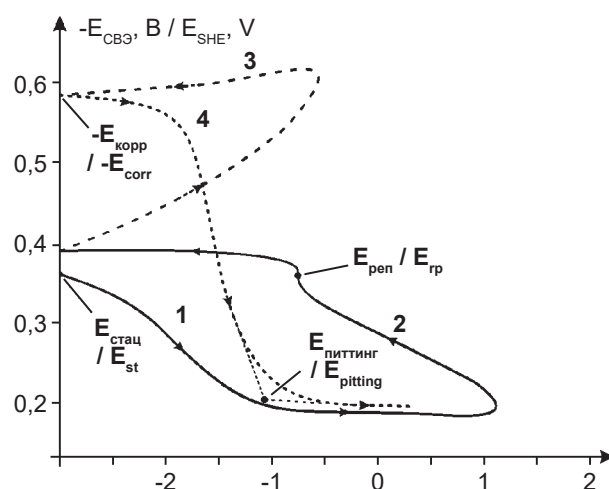


Рис. 1. Полная поляризационная (2 мВ/с) кривая чистого свинца в среде 3%-ного NaCl

Fig. 1. Total polarization (2 mV/s) curve of pure lead in medium of 3% NaCl

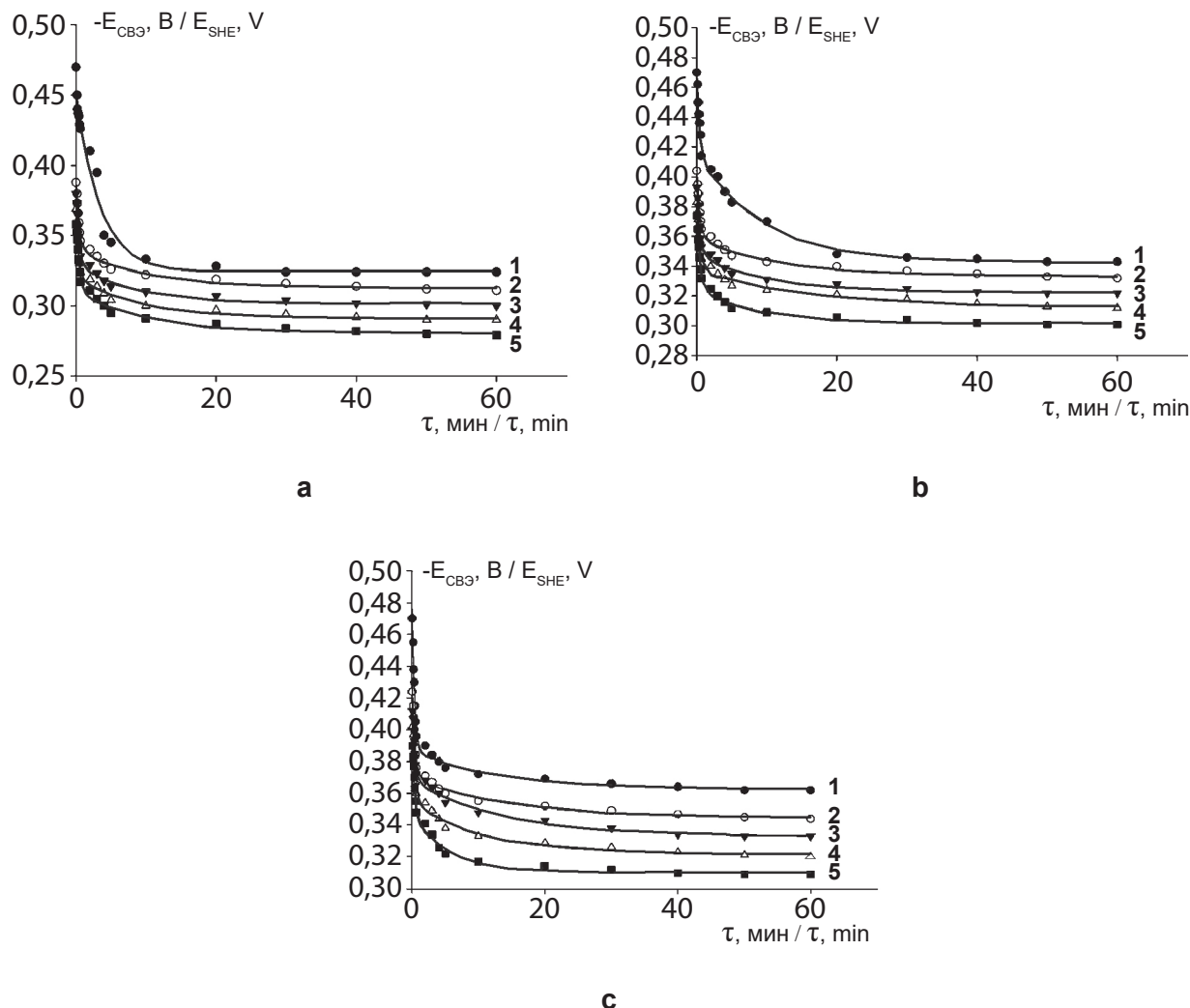


Рис. 2. Временная зависимость стационарного потенциала сплава свинца, содержащего медь, %_{масс.}: 0,0 (кривая 1), 0,01 (кривая 2), 0,05 (кривая 3), 0,1 (кривая 4), 0,5 (кривая 5), в среде электролита 0,03% (а), 0,3% (б) и 3% -ного (с) раствора NaCl

Fig. 2. Time dependence of the stationary potential of lead alloy containing copper, %_{wt.}: 0.0 (curve 1), 0.01 (curve 2), 0.05 (curve 3), 0.1 (curve 4), 0.5 (curve 5), in the electrolyte medium 0.03% (a), 0.3% (b) and 3% (c) NaCl solution

рования защитного оксидного слоя на рабочей поверхности образцов у легированных медью сплавов по сравнению с чистым свинцом.

Коррозионно-электрохимические характеристики сплавов системы Pb-Cu, в среде 0,03, 0,3 и 3,0%-ного NaCl, представлены в табл. Из табл. следует, что добавки меди в пределах 0,01...0,5 %_{масс.} способствуют смещению потенциалов коррозии, репассивации и питтингообразования в область положительных значений.

Зависимость плотности тока коррозии от концентрации NaCl для сплавов системы Pb-Cu показана на рис. 3. Видно, что увеличение кон-

центрации хлорид-иона в электролите способствует росту плотности тока коррозии сплавов на 15...20 %. На рис. 4 показана зависимость скорости коррозии свинца от концентрации меди. Рост концентрации меди в сплаве способствует уменьшению скорости его коррозии на 15...20 % во всех исследованных средах.

На рис. 5 представлены анодные участки поляризационных кривых сплава свинца, содержащего различные концентрации меди. Из рис. 5 следует, что анодные участки поляризационных кривых, относящихся к легированным медью сплавам, располагаются положительнее анодной кривой свинца, что

Таблица. Коррозионно-электрохимические характеристики сплавов свинца с медью в среде 0,03, 0,3 и 3%-ного NaCl

Table. Corrosion and electrochemical characteristics of lead-copper alloys in 0.03, 0.3 and 3% NaCl

Среда NaCl / NaCl medium	Содержание меди в свинце / Copper content in lead	Электрохимические потенциалы, В (с.в.э.) / Electrochemical potentials, V				Скорость коррозии / Corrosion rate	
	% _{масс.} / % _{wt.}	$-E_{стац.}$ / $-E_{st.}$	$-E_{корр}$ / $-E_{corr.}$	$-E_{п.о.}$ / $-E_{pitting}$	$-E_{пен}$ / $-E_{rp}$	$i_{корр} \cdot 10^2$, А/м ² / $i_{corr} \cdot 10^2$, А/м ²	$K \cdot 10^3$, г/м ² ·ч / $K \cdot 10^3$, г/м ² ·h
0,03	0	0,324	0,512	0,180	0,250	0,80	15,44
	0,01	0,311	0,500	0,169	0,240	0,78	15,05
	0,05	0,300	0,490	0,160	0,230	0,76	14,66
	0,1	0,290	0,466	0,152	0,222	0,74	14,28
	0,5	0,279	0,448	0,144	0,216	0,72	13,89
0,3	0	0,343	0,520	0,220	0,310	0,85	16,40
	0,01	0,332	0,510	0,204	0,300	0,83	16,01
	0,05	0,322	0,499	0,182	0,288	0,81	15,63
	0,1	0,312	0,470	0,170	0,264	0,79	15,24
	0,5	0,301	0,460	0,162	0,257	0,77	14,86
3,0	0	0,362	0,580	0,250	0,348	0,98	18,91
	0,01	0,344	0,571	0,231	0,337	0,96	18,52
	0,05	0,333	0,557	0,220	0,318	0,94	18,14
	0,1	0,320	0,532	0,211	0,301	0,92	17,75
	0,5	0,309	0,505	0,202	0,290	0,90	17,37

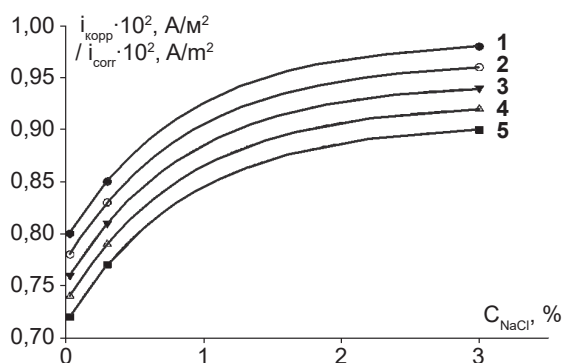


Рис. 3. Зависимость плотности тока коррозии свинца (кривая 1) и сплавов с медью, %_{масс.}: 0,05 (кривая 2); 0,1 (кривая 3); 0,5 (кривая 4) от концентрации NaCl в растворе

Fig. 3. Dependence of the corrosion current density of lead (curve 1) and copper alloys, %_{wt.}: 0.05 (curve 2); 0.1 (curve 3); 0.5 (curve 4) on the concentration of NaCl in solution

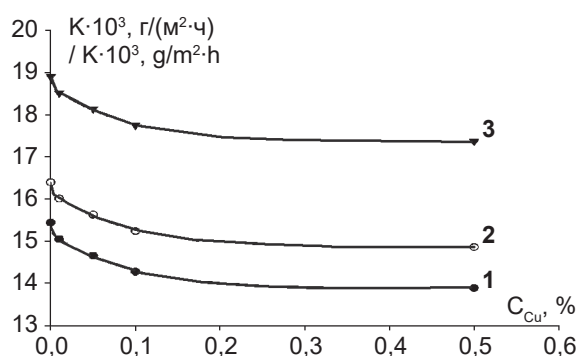


Рис. 4. Зависимость скорости коррозии сплавов свинца с медью, в среде 0,03 (кривая 1); 0,30 (кривая 2); 3,00 %-ных (кривая 3) растворах NaCl

Fig. 4. Dependence of the corrosion rate of lead-copper alloys in medium of 0.03 (curve 1); 0.30 (curve 2); 3.00% (curve 3) of NaCl solutions

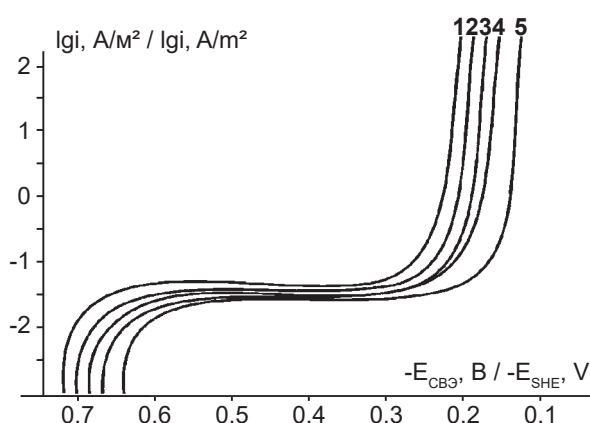


Рис. 5. Анодные потенциодинамические (2 мВ/с) поляризационные кривые свинца (кривая 1) и его сплавов, содержащих медь, % масс.: 0,01 (кривая 2); 0,05 (кривая 3); 0,1 (кривая 4); 0,5 (кривая 5) в 3 %-ных растворах NaCl

Fig. 5. Anodic potentiodynamic (2 MV/s) polarization curves of lead (curve 1) and its alloys containing copper, % by weight: 0.01 (curve 2); 0.05 (curve 3); 0.1 (curve 4); 0.5 (curve 5) in 3% - the name of the plant NaCl

свидетельствует о снижении скорости коррозии свинца при легировании медью. Аналогичные зависимости наблюдаются и при других концентрациях хлорида натрия.

Выводы

1. Потенциостатическим методом со скоростью развёртки потенциала 2 мВ/с в среде электролита NaCl исследовано анодное поведение сплавов системы Pb-Cu и определены стационарные потенциалы коррозии, потенциалы питтингообразования и репассивации.

2. Легирование медью облагораживает электрохимические потенциалы сплавы свинца – $E_{стац.}$ или $E_{св.корр.}$ – стационарный потенциал или потенциал коррозии; $E_{корр.}$ – потенциал коррозии; $E_{н.о.}$ – потенциал питтингообразования; $E_{рп.}$ – потенциал репассивации; $i_{корр.}$ – ток коррозии результатом чего является снижение скорости коррозии в растворах хлорида натрия различной концентрации.

3. Установлено, что легирование сплава свинца медью до 0,5 %_{масс.} повышает его анодную устойчивость на 15...20% в среде NaCl.

4. Рост концентрации хлорид-иона в среде NaCl способствует увеличению скорости коррозии сплавов свинца с медью.

Литература

1. Sriram H., Jagadeeswaran I. EU 2015/863: Restriction of Hazardous Substances (RoHS)-3 // Medical Device Guidelines and Regulations Handbook. – Cham: Springer International Publishing, 2022. – С. 297-307.
2. Torretta V. et al. Management of waste electrical and electronic equipment in two EU countries: A comparison // Waste Management. – 2013. – Т. 33, № 1. – С. 117-122.
3. Ghisellini P., Passaro R., Ulgiati S. Environmental and social life cycle assessment of waste electrical and electronic equipment management in Italy according to EU directives // Environments. – 2023. – Т. 10, № 7. – С. 106.
4. Joscha B., Annkatrin K., Michael R. Beyond RoHS and REACH: Relevant CMR Substances in Electronic Products // 2024 Electronics Goes Green 2024+(EGG). – IEEE, 2024. – С. 1-5.
5. Столяренко В.А., Табелева Н.Н. Требования технического регламента Евразийского экономического союза «О безопасности химической продукции» (ТР ЕАЭС 041/2017). Перспективы внедрения в Республике Беларусь // Гигиена, экология и риски здоровью в

современных условиях. – 2022. – С. 208-210.

6. Ruusila V. et al. The effect of micro-structure and lead content on the tribological properties of bearing alloys. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J:// Journal of Engineering Tribology. – 2013. – Т. 227, №. 8. – С. 878-887.

7. Rudychev V. G. et al. Optimization of radiation shields made of Fe and Pb for the spent nuclear fuel transport casks // Nuclear Engineering and Technology. – 2023. – Т. 55, № 2. – С. 690-695.

8. Mallikarjun S., Shruthi A. A Study on Dynamic Response of High-Rise Buildings using Lead Rubber Bearing Isolator // CVR Journal of Science and Technology. – 2022. – Т. 23, № 1. – С. 14-20.

9. Akkurt İ. et al. Determination of some heavyweight aggregate half value layer thickness used for radiation shielding // Acta Physica Polonica A. – 2012. – Т. 121, № 1. – С. 138-140.

10. Arif Sazali M., Alang Md Rashid N. K., Hamzah K. A review on multilayer radiation shielding // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2019. – Т. 555, № 1. – С. 012008.

11. Hu G. et al. Study on the design and experimental verification of multilayer radiation shield against mixed neutrons and γ -rays // Nuclear Engineering and Technology. – 2020. – Т. 52, № 1. – С. 178-184.

12. Mayco international: official site. URL: <https://maycointernational.com/blog/what-are-cars-made-of/> (дата обращения: 09.01.2025).

13. Брянцева В.И., Цхе Л.А., Бундже В.Г., Дунаев Ю.Д., Кирьяков Г.З. Электрохимия металлов и химия амальгам. Алма-Ата: «Наука КазССР», 1969. – С. 23-28.

14. Дунаев Ю.Д., Брянцева В.И., Лукин Е.Г., Бундже В.Г. Электрохимические исследования амальгамных систем. Алма-Ата: «Наука КазССР», 1972. – 52 с.

15. Муллоева Н.М., Ганиев И.Н. Сплавы свинца с щелочноземельными металлами. Монография. Душанбе: ООО «Андалеб - Р», 2015. – 168 с.

16. Ганиев И.Н., Саидова Ф.Р., Худойбердизода С.У., Джайлоев Д.Х. Анодное поведение алюминиевого сплава $\text{AlMg}_{5,5}\text{Li}_{2,1}\text{Zr}_{0,15}$ ТИПА дюралюмин, со стронцием в среде водного раствора NaCl // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2024. – Т. 32, № 1-2. – С. 13-19.

17. Худойбердизода С.У., Ганиев И.Н., Муллоева Н.М., Джайлоев Дж.Х., Якубов У.Ш. Потенциодинамическое исследование сплавов свинца с теллуром, в среде электролита NaCl // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2020. – № 2. – С. 238-245.

18. Худойбердизода С.У., Ганиев И.Н., Муллоева Н.М., Эшов Б.Б., Джайлоев Дж.Х., Якубов У.Ш. Потенциодинамическое исследование свинцового сплава SSuZ , легированного медью, в среде электролита NaCl // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2019. – № 1. – С. 206-213.

19. Киреев С.Ю., Синенкова С.Р., Киреева С.Н., Наумов Л.В., Козлов Г.В., Балыбердин А.С. Получение и свойства композиционных электрохимических покрытий индий-графит и никель-карбид вольфрама // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2024. – Т. 32, № 1-2. – С. 6-12.

20. Ниёзов О.Х., Ганиев И.Н., Муллоева Н.М., Худойбердизода С.У. Потенциодинамическое исследование сплава SSuZ , легированного кальцием в среде электролита NaCl // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2018. – № 1 (23). – С. 37-41.

References

1. Sriram H., Jagadeeswaran I. (2022). EU 2015/863: Restriction of Hazardous Substances (RoHS)-3. *Medical Device Guidelines and Regulations Handbook*. Cham.: Springer International Publishing, 297-307.

2. Torretta V. et al. (2013). Management of waste electrical and electronic equipment in two EU countries: A comparison. *Waste Management*, 33(1), 117-122.

3. Ghisellini P., Passaro R., Ulgiati S. (2023). Environmental and social life cycle assessment of waste electrical and electronic equipment management in Italy according to EU directives. *Environments*, 10(7), 106.

4. Joscha B., Annkatrin K., Michael R. (2024). Beyond RoHS and REACH: Relevant CMR Substances in Electronic Products. *Electronics Goes Green 2024+(EGG)*. IEEE, 1-5.

5. Stolyarenko, V. A., Tabeleva, N. N. (2022). Requirements of the technical regulations of the Eurasian Economic Union «On the safety

of chemical products» (TR EAEU 041/2017). Prospects for implementation in the Republic of Belarus. *Hygiene, ecology and health risks in modern conditions*, 208-210. (in Russ.)

6. Ruusila, V. et al. (2013). The effect of microstructure and lead content on the tribological properties of bearing alloys. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: *Journal of Engineering Tribology*, 227(8), 878-887.

7. Rudychev, V. G. et al. (2023). Optimization of radiation shields made of Fe and Pb for the spent nuclear fuel transport casks. *Nuclear Engineering and Technology*, 55(2), 690-695.

8. Mallikarjun, S., Shruthi, A. A (2022). Study on Dynamic Response of High-Rise Buildings using Lead Rubber Bearing Isolator. *CVR Journal of Science and Technology*, 23(1), 14-20.

9. Akkurt, İ. et al. (2012). Determination of some heavyweight aggregate half value layer thickness used for radiation shielding. *Acta Physica Polonica A*, 121(1), 138-140.

10. Arif Sazali M., Alang Md Rashid N. K., Hamzah K. (2019). A review on multilayer radiation shielding. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. *IOP Publishing*, 555(1), 012008.

11. Hu G. et al. (2020). Study on the design and experimental verification of multilayer radiation shield against mixed neutrons and γ -rays. *Nuclear Engineering and Technology*, 52(1), 178-184.

12. Mayco international: official site. URL: <https://maycointernational.com/blog/what-are-cars-made-of/> (accessed 09.01.2025).

13. Bryantseva, V. I., Tskhe, L. A., Bunzhe, V. G., Dunaev, Yu. D. & Kiryakov, G. Z. (1969). *Elektrokhimiya metallov and amalgam*. Alma-ata: Nauka KazSSR, 23-28. (in Russ.)

14. Dunaev, Yu. D., Bryantseva, V. I., Lukin,

E. G. & Bunje, V. G. (1972). *Elektrokhimicheskie issledovanie amalgamnikh system*. Alma-ata: Nauka KazSSR. (in Russ.)

15. Mullaeva, N. M., Ganiev, I. N. (2015). *Splavi svinsa s shelochnozemelnimi metallami*. Monografiya. Dushanbe: Andaleb. (in Russ.)

16. Ganiev, I. N., Saidova, F. R., Khudoiberdizoda, S. U. & Dzhalilov, D. H. (2024). Anodnoe povedenie alyuminievogo splava AlMg5,5Li2,1Zr0,15 tipa dyuralumin so strong siem v srede vodnogo rastvora NaCl. *Galvanotekhnika I obrabotka poverkhnosti*, 32(1-2), 13-19. (in Russ.)

17. Khudoyberdizoda, S. U., Ganeev, I. N., Mullaeva, N. M., Jalaev, J. H. & Yakubov, U. Sh. Potensiodinamicheskie iccledovanie splavov svinsa s tellurom, v srede elektrolita NaCl. *Vestnik Tadjikskogo natsionalnogo universiteta. Seriya estestvennikh nauk*, (2), 238-245. (in Russ.)

18. Khudoyberdizoda, S. U., Ganeev, I. N., Mullaeva, N. M., Jalaev, J. H. & Yakubov, U. Sh. (2019). Potensiodinamicheskie iccledovanie svinovogo svlava SSu3, legirovannogo medyu v srede elektrolita NaCl. *Vestnik Tadjikskogo natsionalnogo universiteta. Seriya este estvennikh nauk*, (1), 206-213. (in Russ.)

19. Kireev, S. Yu., Sinenkova, S. R., Kireeva, S. N., Naumov, L. V., Kozlov, G. V. & Balyberdin, A. S. (2024). Poluchenie I svoystva kompozitsionnikh elektrokhimicheskikh pokritiy indiy-grafit I nikel-karbid volframa. *Galvanotekhnika I obrabotka poverkhnosti*, 32(1-2), 6-12. (in Russ.)

20. Niezov, O. Kh., Ganiev, I. N., Mulloeva, N. M. & Khudoiberdizoda, S. U. (2018). Potensiodinamicheskie iccledovanie svlava SSu3, legirovannogo kalsiem v srede elektrolita NaCl. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industralnogo universiteta*, (1), 37-41. (in Russ.)

Информация об авторах

Худойбердизода Саидмири Убайдулло, к.т.н., в.н.с., Институт химии имени В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана, г. Душанбе, Республика Таджикистан

Ганиев Изатулло Наврузович, академик Национальной академии наук Таджикистана, д.х.н., профессор, заведующий лабораторией, Институт химии имени В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана, г. Душанбе, Республика Таджикистан

Джайлоев Джамшед Хусейнович, к.т.н., в.н.с., Институт химии имени В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана, г. Душанбе, Республика Таджикистан

Киреев Сергей Юрьевич, д.т.н., профессор, Пензенский государственный университет (ПГУ), г. Пенза, Российская Федерация

Янгуразова Альфия Зякьяевна, старший преподаватель, ПГУ, г. Пенза, Российская Федерация

Кирилина Юлия Николаевна, к.т.н., доцент, ПГУ, г. Пенза, Российская Федерация

Муллоева Нукра Мазабшоевна, к.т.н., в.н.с., Центр по исследованию инновационных технологий Национальной академии наук Таджикистан, г. Душанбе, Республика Таджикистан

Information about authors

Saidmiri U. Khudoiberdizoda, Cand. in Technical Sciences, Leading Researcher, V.I. Nikitin Chemistry Institute of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Republic of Tajikistan

Izatullo N. Ganiev, Academician of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of the Laboratory, V.I. Nikitin Chemistry Institute of the National Academy of Sciences of Tajikistan

Jamshed H. Dzhalilov, Cand. in Technical Sciences, Leading Researcher, V.I. Nikitin Chemistry Institute of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Republic of Tajikistan

Sergey Yu. Kireev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Penza State University, Penza, Russian Federation

Alfiya Z. Yangurazova, Senior Lecturer, Penza State University, Penza, Russian Federation

Yulia N. Kirilina, Cand. in Technical Sciences, Associate Professor, Penza State University, Penza, Russian Federation

Nukra N. Mullaeva, Cand. in Technical Sciences, Leading Researcher, Center for Research of Innovative Technologies of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Republic of Tajikistan