

Научная статья
УДК 620.19:629.5.023
<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-4-38-46>
EDN GVJELM

К вопросу изготовления цинковых электродов сравнения для морских судов и кораблей

Дмитрий Павлович Ястребов

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, Россия, restart1101@mail.ru*

Аннотация. Обоснована актуальность осуществления контроля защищенности от коррозии морских судов и кораблей. В современных условиях экипажи судов осуществляют данный контроль методом измерения потенциала корпуса судна, который производят посредством электродов сравнения. Приведены результаты контроля защищенности от коррозии корпуса морского судна ПМ-15 проекта № 304/III. Контроль основан на результатах измерений потенциала корпуса морского судна. Измерения выполнили с помощью штатного хлорсеребряного электрода сравнения и двух нестандартных электродов, изготовленных из оцинкованной стали. При изготовлении нестандартных электродов сравнения были учтены пожелания экипажей морских судов Камчатского флота. Испытания электродов сравнения, выполненных из оцинкованной стали, свидетельствуют, что результаты измерений потенциала корпуса судна можно отнести к категории «точных измерений» согласно ГОСТ Р 8.736-2011; результаты измерений достаточно стабильны согласно ГОСТ Р 8.736-2011. Отмечено, что стоимость хлорсеребряного электрода сравнения в разы выше стоимости электродов сравнения, изготовленных из оцинкованной стали. Учитывается трудозатратный процесс хранения и транспортировки хлорсеребряного электрода сравнения по сравнению с электродами сравнения, изготовленными из оцинкованной стали. Рекомендованы к использованию электроды сравнения, выполненные из оцинкованной стали, для контроля защищенности корпусов морских судов от коррозии. Сделаны выводы о возможности изготовления и использования нестандартных электродов сравнения на судах экипажами судов или судоремонтными бригадами. Результаты проведенных исследований могут быть использованы экипажами морских судов для организации контроля защищенности корпусов судов от коррозии.

Ключевые слова: контроль защищенности морских судов от коррозии, хлорсеребряный электрод сравнения, цинковый электрод сравнения, измерение потенциала корпуса судна, точность результатов измерений потенциала корпуса судна, стабильность результатов измерений

Для цитирования: Ястребов Д. П. К вопросу изготовления цинковых электродов сравнения для морских судов и кораблей // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2022. № 4. С. 38–46. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-4-38-46>. EDN GVJELM.

Original article

To question of manufacturing zinc reference electrodes for sea-going vessels and ships

Dmitry P. Yastrebov

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, restart1101@mail.ru*

Abstract. The article highlights the urgent problem of corrosion protection monitoring of sea-going vessels and ships. Nowadays, the ship teams provide the control by measuring the potential of the ship hull using reference electrodes. There are given the results of monitoring the corrosion protection of the hull of the sea-going vessel PM-15 project No. 304/III. The control system is based on the results of measuring the potential of the ship hull. The measurements were taken using a standard silver chloride reference electrode (SCE) and two nonstandard electrodes made of galvanized steel. In manufacturing the non-standard reference electrodes there were taken into account the requests of the crews of sea-going vessels of the Kamchatka fleet. Testing the reference electrodes of galvanized steel proves that the

results of measuring the potential of the ship hull can be classified as accurate measurements in accordance with GOST R 8.736-2011. The measuring results are quite stable according to GOST R 8.736-2011. It has been stated that the cost of CSE is several times higher than the cost of reference electrodes made of galvanized steel. The process of storing and transporting CSE is more labour-intensive compared to the galvanized steel reference electrodes. The galvanized steel reference electrodes provided for protecting the marine hulls from corrosion are recommended for use. It has been inferred that manufacture and application of non-standard reference electrodes on ships can be provided by ship repair crews. The study results can be used by the crews of sea-going vessels to control the protection of ship hulls against corrosion.

Keywords: monitoring the corrosion protection of sea-going vessels, silver chloride reference electrode, zinc reference electrode, measuring ship hull potential, accuracy of ship hull potential measuring results, availability of measurement results

For citation: Yastrebov D. P. To question of manufacturing zinc reference electrodes for sea-going vessels and ships. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies.* 2022;4:38-46. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-4-38-46>. EDN GVJELM.

Введение

Контроль защищенности от коррозии морских судов и кораблей является важной государственной задачей [1–3]. Данный контроль экипажи судов выполняют методом измерения потенциала корпуса судна [4–6]. Потенциал корпуса измеряют с помощью электродов сравнения [4–6]. Исследователь К. А. Чендлер [7] выделяет следующие основные виды электродов сравнения:

- 1) каломельный;
- 2) хлорсеребряный (ХСЭ);
- 3) медно-сульфатный;
- 4) цинковый.

По мнению К. А. Чендлера, цинковый электрод сравнения «...не очень точен, но надежен при длительном применении» [7, с. 236].

Все вышеперечисленные электроды сравнения также рассмотрены в международном стандарте [8]:

- ХСЭ сравнения является наиболее широко используемым электродом;
- медно-сульфатный электрод недостаточно стабилен в морской воде, не рекомендуется для использования в морской воде;
- цинковые электроды менее точные, чем ХСЭ;
- каломельный электрод более подходит для лабораторных измерений.

Мнения К. А. Чендлера и других авторов повлияли на разработчиков российских стандартов [3–6] по защите морских судов от коррозии. В этих стандартах рекомендовано использовать в качестве электрода сравнения только ХСЭ. Согласно ВСН 39-84 «... в качестве датчиков автоматизированных систем катодной защиты следует использовать стационарно установленные ХСЭ» [9, с. 6].

Основываясь на результатах многочисленных исследований [10–16], мы считаем, что ХСЭ не является надежным электродом сравнения для

морских судов и кораблей [11], поэтому экипажи судов не используют ХСЭ. В работе [12] показано, что на морских судах можно использовать цинковые электроды сравнения, отличающиеся удобством в эксплуатации. Для привлечения внимания экипажей морских судов к цинковым электродам сравнения необходимо минимально упростить и удешевить технологию изготовления этих электродов. Кроме того, необходимо отказаться от использования импортного химически чистого цинка.

В статье рассмотрен один их подходов к совершенствованию технологии изготовления цинковых электродов сравнения для морских судов.

Цель статьи – обмен опытом, необходимым для изготовления цинковых электродов сравнения на морских судах и кораблях.

Экспериментальная часть

Для достижения поставленной цели нами изготовлен цинковый электрод сравнения из оцинкованного стального листа. Второй цинковый электрод был изготовлен из перфорированной оцинкованной крепежной пластины. Эти крепежные оцинкованные пластины продаются в любом магазине метизных изделий. Стоимость данных пластин около 60 руб. Конструкция цинковых электродов приведена на рис. 1.

Устройство содержит электрод, выполненный из оцинкованной стали 1, к которому припаян измерительный кабель 3, при этом место пайки 2 защищено клеем ВК 9 или аналогичным; к свободному концу измерительного кабеля 3 припаян наконечник кабеля 4, при этом место пайки изолировано с помощью термоусаживаемой трубки 5. Схема подключения электродов сравнения при контроле коррозионной защиты корпуса судна представлена на рис. 2.

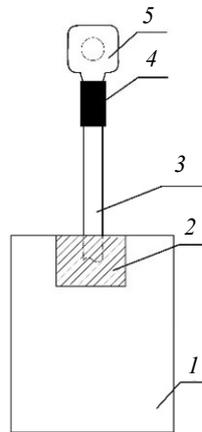


Рис. 1. Конструкция цинковых электродов, используемых в эксперименте для контроля защищенности от коррозии судов и кораблей: 1 – электрод, выполненный из оцинкованной стали; 2 – место пайки измерительного кабеля, защищенное клеем ВК 9 или аналогичным; 3 – измерительный кабель; 4 – наконечник измерительного кабеля; 5 – термоусаживаемая трубка

Fig. 1. Design of zinc electrodes used in the experiment to control the corrosion protection of ships and vessels: 1 – electrode made of galvanized steel; 2 – place for soldering the measuring cable protected with VK 9 glue (or similar); 3 – measuring cable; 4 – tip of the measuring cable; 5 – heat-shrinkable tube

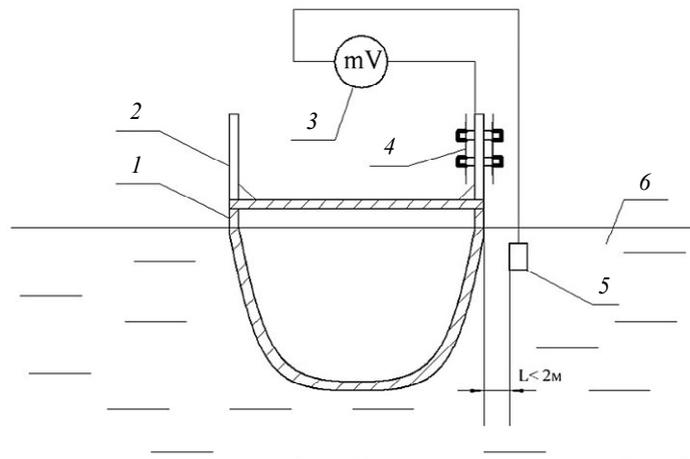


Рис. 2. Схема подключения электродов при контроле коррозионной защиты судна: 1 – корпус судна или корабля; 2 – фальшборт; 3 – электроизмерительный прибор (милливольтметр); 4 – прижимной контакт; 5 – электрод сравнения; 6 – морская вода

Fig. 2. Layout of connecting electrodes when monitoring the ship corrosion protection: 1 – ship hull; 2 – bulwark; 3 – electrical measuring device (millivoltmeter); 4 – clamping contact; 5 – reference electrode; 6 – sea water

Эксплуатация происходит следующим образом:
 – электрод сравнения с помощью кабельного наконечника подключают к измерительному прибору, аналогичное соединение – к милливольтметру;
 – милливольтметр с помощью дополнительного измерительного кабеля, снабженного прижимным контактом, присоединяют к фальшборту судна;

– электрод сравнения погружают в морскую воду на глубину 0,5–1 м, при этом расстояние между электродом сравнения и корпусом судна не должно превышать 2 м;
 – включают переносной милливольтметр и снимают показания прибора (не менее трех единичных показаний), при этом интервал времени между снятиями показаний – 5 с;

– при эффективной работе протекторной защиты показания милливольтметра должны находиться в интервале значений от -250 до $+50$ мВ для цинкового электрода.

Стоит отметить, что для присоединения оцинкованной пластины к медному электромонтажному проводу можно использовать болтовое соединение, изготовленное также из оцинкованной стали, или разъемное соединение. С помощью самодельных цинковых электродов № 1, 2 и ХСЭ сравнения № 3 контролировали защищенность корпуса судна ПМ-15 проекта № 304/III («Плавучая мастерская») по методике, приведенной в работах [17–21]. Эксперимент был выполнен в период с 20.05.2022 по 17.06.2022. Судно находилось в г. Петропавловске-Камчатском в стояночном режиме в торговом порту у пирса № 13. Восстановительные работы по корпусу судна в доке последний раз осуществлялись в 1990 г. Оценивали состояние коррозионной защиты корпуса судна согласно рекомендациям, описан-

ным в работах [17–21]. Измерения проводили каждым электродом последовательно с помощью 50 измерений, которые заносились в таблицу. Точность обработанных измерений оценивали с помощью коэффициента их вариации V , % [22]. Для статистической обработки результатов эксперимента использовали программное обеспечение Microsoft Office Excel 365: 2002 (16.0.12527.20278).

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты вариационных вычислений и полученного контроля коррозионных измерений при помощи различных электродов на судне типа «Плавучая мастерская» № 15 (ПМ-15) приведены в таблице (U_{cp} – среднее арифметическое, мВ; R – размах вариации; d – среднее линейное отклонение; D – дисперсия; σ – среднее квадратичное отклонение; Kd – линейный коэффициент вариации, %; Kr – коэффициент осцилляции, %; V – коэффициент вариации, %) и на рис. 3–5.

Результаты контроля защищенности от коррозии корпуса судна ПМ-15 с 20.05.2022 по 17.06.2022

Results of monitoring the corrosion protection of the hull of the vessel PM-15 in the period of 20.05.2022 - 17.06.2022

		Результаты контроля потенциала корпуса судна U , мВ, полученные с помощью электродов, в день														
		Электрод № 1 (цинковый электрод)					Электрод № 2 (цинковый электрод)					Электрод № 3 (ХСЭ)				
№	Дата	20.05.2022	27.05.2022	03.06.2022	10.06.2022	17.06.2022	20.05.2022	27.05.2022	03.06.2022	10.06.2022	17.06.2022	20.05.2022	27.05.2022	03.06.2022	10.06.2022	17.06.2022
1		-352	-361	-368	-371	-364	-347	-350	-356	-364	-360	643	641	638	633	640
2		-352	-361	-368	-371	-364	-348	-350	-356	-364	-360	643	641	638	633	640
3		-352	-361	-368	-371	-364	-348	-350	-356	-364	-360	643	641	638	633	640
4		-352	-361	-368	-371	-364	-348	-350	-356	-364	-360	643	641	638	633	640
5		-352	-361	-368	-371	-364	-348	-350	-356	-364	-360	642	641	638	633	640
6		-351	-361	-368	-371	-365	-348	-350	-356	-364	-360	642	641	638	633	640
7		-352	-361	-368	-371	-364	-348	-350	-356	-364	-360	641	640	638	633	640
8		-351	-361	-368	-371	-364	-348	-350	-356	-364	-360	642	640	638	633	640
9		-351	-361	-368	-371	-364	-347	-351	-356	-364	-360	642	640	638	633	640
10		-352	-360	-368	-371	-364	-347	-350	-356	-364	-360	641	640	638	633	640
11		-350	-361	-368	-371	-363	-347	-350	-356	-364	-360	641	640	638	633	641
12		-351	-361	-368	-371	-364	-347	-350	-356	-364	-360	641	640	638	633	641
13		-350	-360	-368	-371	-364	-346	-350	-356	-364	-360	642	640	638	633	641
14		-351	-361	-368	-370	-363	-346	-350	-356	-364	-360	642	640	638	633	640
15		-351	-360	-368	-370	-364	-346	-350	-356	-363	-361	641	640	638	633	640
16		-352	-360	-368	-370	-364	-346	-350	-356	-363	-360	641	640	638	633	641
17		-352	-360	-368	-370	-364	-347	-350	-356	-363	-360	641	640	638	633	640
18		-351	-360	-369	-370	-364	-347	-350	-356	-363	-361	642	640	638	633	640
19		-352	-360	-368	-370	-363	-347	-350	-356	-363	-361	641	640	638	633	640
20		-351	-360	-369	-370	-363	-347	-350	-356	-363	-361	641	640	638	633	640
21		-351	-361	-369	-370	-363	-347	-351	-356	-363	-360	642	640	638	633	640
22		-351	-361	-369	-370	-363	-347	-351	-356	-363	-360	642	640	638	633	640
23		-351	-361	-369	-370	-364	-347	-350	-356	-363	-360	642	639	638	633	641
24		-352	-360	-368	-370	-364	-348	-350	-357	-363	-360	642	640	638	633	641
25		-351	-360	-369	-370	-363	-348	-350	-356	-363	-360	641	640	638	633	641
26		-351	-360	-369	-371	-363	-347	-350	-356	-362	-361	641	640	638	632	641
27		-351	-360	-369	-371	-363	-348	-351	-356	-362	-361	641	640	638	632	641
28		-352	-360	-369	-371	-363	-348	-351	-357	-362	-361	641	640	638	632	641
29		-352	-360	-369	-371	-363	-348	-351	-357	-362	-361	641	640	638	632	641

Окончание табл.

Ending of the Table

Ястребов Д. П. К вопросу изготовления цинковых электродов сравнения для морских судов и кораблей

№ Дата	Результаты контроля потенциала корпуса судна $U =$, мВ, полученные с помощью электродов, в день														
	Электрод № 1 (цинковый электрод)					Электрод № 2 (цинковый электрод)					Электрод № 3 (ХСЭ)				
	20.05.2022	27.05.2022	03.06.2022	10.06.2022	17.06.2022	20.05.2022	27.05.2022	03.06.2022	10.06.2022	17.06.2022	20.05.2022	27.05.2022	03.06.2022	10.06.2022	17.06.2022
30	-352	-359	-369	-371	-363	-348	-351	-357	-362	-361	641	639	638	633	641
31	-352	-360	-369	-371	-363	-348	-351	-356	-363	-361	640	639	637	633	641
32	-352	-360	-369	-371	-363	-347	-350	-357	-363	-360	640	639	638	633	641
33	-353	-360	-369	-370	-364	-347	-351	-357	-363	-360	640	640	638	633	641
34	-353	-359	-369	-370	-363	-347	-351	-357	-363	-359	640	640	638	632	640
35	-353	-359	-369	-370	-363	-347	-351	-357	-363	-360	641	639	638	632	640
36	-353	-360	-369	-370	-363	-347	-351	-357	-362	-360	640	639	638	632	640
37	-353	-360	-369	-371	-363	-347	-350	-357	-362	-360	640	639	638	632	640
38	-353	-360	-368	-371	-362	-347	-351	-357	-362	-359	641	639	638	632	640
39	-353	-359	-369	-371	-363	-348	-351	-356	-362	-360	641	639	638	632	640
40	-351	-360	-369	-371	-363	-347	-351	-357	-362	-360	640	639	638	632	640
41	-352	-359	-369	-371	-363	-347	-351	-357	-362	-360	640	640	637	632	640
42	-353	-359	-369	-371	-363	-347	-351	-357	-362	-359	640	640	637	632	640
43	-352	-359	-369	-371	-363	-348	-351	-357	-362	-360	640	639	637	632	640
44	-352	-359	-369	-371	-362	-348	-351	-357	-362	-360	641	639	637	632	640
45	-353	-359	-369	-371	-362	-348	-351	-357	-362	-359	641	639	637	632	640
46	-353	-359	-369	-371	-363	-348	-352	-358	-362	-360	641	639	637	632	640
47	-353	-359	-368	-371	-362	-347	-351	-357	-362	-359	640	640	637	632	640
48	-353	-359	-369	-371	-362	-347	-351	-357	-362	-359	641	639	637	632	640
49	-353	-359	-369	-371	-362	-347	-351	-357	-362	-359	640	639	637	632	640
50	-353	-359	-369	-371	-362	-347	-351	-357	-362	-359	640	639	637	632	640
$U_{ср},$ мВ	-351,90	-360,02	-368,58	-370,68	-363,26	-347,30	-350,52	-356,46	-362,88	-360,04	641,12	639,78	637,78	632,58	640,30
R	3,00	2,00	1,00	1,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	2,00	1,00	1,00	1,00
d	0,69	0,59	0,49	0,44	0,60	0,53	0,52	0,52	0,70	0,38	0,69	0,53	0,34	0,49	0,42
D	0,73	0,58	0,24	0,22	0,51	0,37	0,29	0,29	0,67	0,36	0,79	0,41	0,17	0,24	0,21
σ	0,86	0,77	0,50	0,47	0,72	0,61	0,54	0,54	0,82	0,60	0,90	0,65	0,42	0,50	0,46
$Kd, \%$	0,20	0,16	0,13	0,12	0,17	0,15	0,15	0,14	0,19	0,11	0,11	0,08	0,05	0,08	0,07
$Kr, \%$	0,85	0,56	0,27	0,27	0,83	0,58	0,57	0,56	0,55	0,56	0,47	0,31	0,16	0,16	0,16
$V, \%$	0,25	0,21	0,14	0,13	0,20	0,18	0,16	0,15	0,23	0,17	0,14	0,10	0,07	0,08	0,07



Рис. 3. Динамика измерений результатов потенциала в период с 20.05.2022 по 17.06.2022, полученных с помощью электрода № 1 из оцинкованной стали

Fig. 3. Dynamics of measurements of potential results in the period of 20.05.2022 - 17.06.2022 obtained by using a galvanized steel electrode No. 1

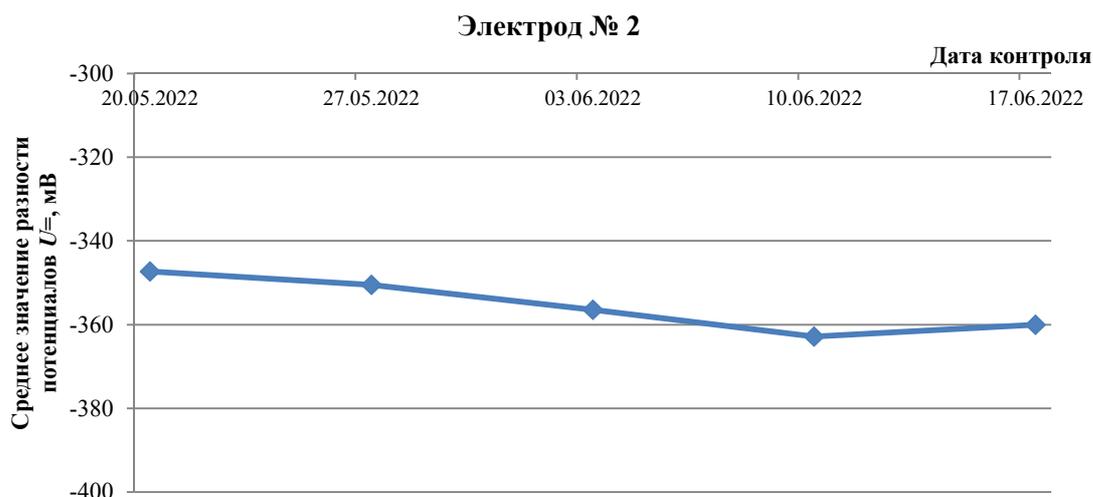


Рис. 4. Динамика измерений результатов потенциала в период с 20.05.2022 по 17.06.2022, полученных с помощью электрода № 2 из оцинкованной стали

Fig. 4. Dynamics of measurements of potential results in the period of 20.05.2022 - 17.06.2022 obtained by using galvanized steel electrode No. 2

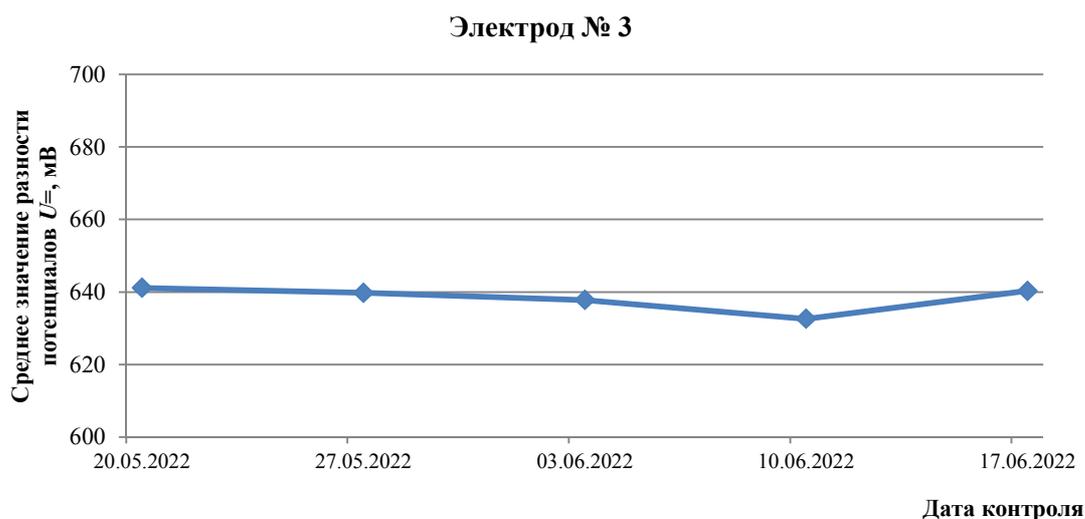


Рис. 5. Динамика измерений результатов потенциала в период с 20.05.2022 по 17.06.2022, полученных с помощью электрода № 3 (ХСЭ)

Fig. 5. Dynamics of measurements of potential results in the period of 20.05.2022 - 17.06.2022 obtained by using electrode No. 3 (silver chloride)

Согласно результатам эксперимента, приведенным в таблице, совокупности всех измерений однородны, степени рассеивания данных незначительны, т. к. $V < 10\%$. Динамика изменений результатов потенциала в разные сутки, полученных с помощью разных электродов сравнения, проиллюстрирована на рис. 3–5.

Результаты контроля защищенности от коррозии корпуса судна ПМ-15 проекта № 304/III («Пла-

вучая мастерская»), полученные с помощью электродов сравнения № 1 и 2, выполненных из оцинкованной стали, достаточно стабильны и повторяемы [22]. О правильности показаний свидетельствуют результаты, выполненные электродом сравнения № 3 (ХСЭ) [5, 6], т. к. в эксперименте он выполнял роль контрольного. Полученные результаты электродов сравнения № 1 и 2 указывают на плохую защищенность корпуса судна ПМ-15 [5, 6]

в течение всего периода измерений, что сходится с показаниями электрода сравнения № 3 (ХСЭ). Стоит отметить, что стоимость ХСЭ в разы выше стоимости электродов сравнения, изготовленных из оцинкованной стали. Следует учитывать более трудозатратный процесс хранения и транспортировки ХСЭ по сравнению с электродами сравнения, изготовленными из оцинкованной стали. Таким образом, целесообразно рекомендовать к ис-

пользованию электроды сравнения, изготовленные из оцинкованной стали.

Выводы

1. Для контроля защищенности корпусов морских судов от коррозии можно использовать электроды сравнения, выполненные из оцинкованной стали.

2. Эксплуатировать и изготавливать нестандартные электроды сравнения на судах могут экипажи судов или судоремонтные бригады.

Список источников

1. Зобочев Ю. Е., Солинская Э. В. Защита судов от коррозии и обрастания. М.: Транспорт, 1984. 174 с.
2. Швецов В. А., Белов О. А., Белозеров П. А., Шунькин Д. В. Контроль систем протекторной защиты стальных судов и кораблей: моногр. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатГТУ, 2016. 109 с.
3. Коробцов И. М. Техническое обслуживание и ремонт флота. М.: Транспорт, 1975. 195 с.
4. РД 31.28.10-97. Комплексные методы защиты судовых конструкций от коррозии. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200049727> (дата обращения: 11.09.2022).
5. ГОСТ 9.056-75. Стальные корпуса кораблей и судов. Общие требования к электрохимической защите при долговременном стояночном режиме. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200015017> (дата обращения: 11.09.2022).
6. ГОСТ 26501-85. Корпуса морских судов. Общие требования к электрохимической защите. М.: Изд-во стандартов, 1985. 7 с.
7. Чендлер К. А. Коррозия судов и морских сооружений / пер. с англ. И. А. Бархатова, В. И. Лемкова. Л.: Судостроение, 1988. 320 с.
8. ISO 15589-2-12. Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Cathodic protection of pipeline transportation systems. URL: <https://www.iso.org/standard/51992.html> (дата обращения: 14.09.2022).
9. ВСН 39-84. Катодная защита от коррозии оборудования и металлических конструкций гидротехнических сооружений. Л.: Минэнерго СССР, 1985. 35 с.
10. Ястребов Д. П., Белов О. А., Швецов В. А., Белавина О. А. О выборе электродов для контроля систем протекторной защиты стальных судов и кораблей // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2019. № 4. С. 39–45.
11. Ястребов Д. П., Белов О. А., Швецов В. А., Ушакевич А. П., Кузнецов Г. В. О целесообразности использования хлорсеребряных электродов для контроля систем протекторной защиты стального корпуса судна // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. (Петропавловск-Камчатский, 23–25 октября 2019 г.). Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатГТУ, 2020. С. 121–124.
12. Ястребов Д. П., Шунькин Д. В., Рогожников А. О., Кузнецов Г. В. К вопросу использования цинковых электродов для контроля протекторной защиты судов и кораблей // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2021. № 2. С. 16–23.

13. Ястребов Д. П., Белов О. А., Швецов В. А., Белавина О. А., Зайцев С. А. К вопросу использования стальных пластин для контроля протекторной защиты корпусов судов и кораблей // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. (Петропавловск-Камчатский, 23–25 октября 2019 г.). Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатГТУ, 2020. С. 125–129.

14. Ястребов Д. П., Белов О. А., Швецов В. А., Тарабанов Б. В., Зайцев С. А. К вопросу использования электродов из судокорпусной стали для контроля защищенности от коррозии корпусов судов и кораблей // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2020. № 2. С. 15–21.

15. Ястребов Д. П., Белов О. А., Швецов В. А., Ушакевич А. П., Кузнецов Г. В., Тарабанов Б. В. К вопросу использования алюминиевых электродов для контроля защищенности от коррозии стальных корпусов судов и кораблей // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2021. № 3. С. 23–32.

16. Ястребов Д. П. К вопросу использования медных электродов для контроля защищенности от коррозии стальных корпусов судов и кораблей // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2021. № 4. С. 43–51.

17. Белов О. А., Швецов В. А., Ястребов Д. П. Обоснование оптимальной периодичности контроля работы протекторной защиты стальных корпусов судов // Эксплуатация мор. трансп. 2017. № 1 (82). С. 41–48.

18. Белов О. А., Швецов В. А., Ястребов Д. П., Белавина О. А., Шунькин Д. В. Внедрение усовершенствованного способа контроля систем протекторной защиты стальных корпусов судов Камчатского флота // Вестн. Камчат. гос. техн. ун-та. 2017. № 39. С. 6–11.

19. Швецов В. А., Белов О. А., Белавина О. А., Ястребов Д. П. Обоснование возможности исключения внешнего осмотра систем протекторной защиты стальных корпусов судов // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2017. № 1. С. 29–38.

20. Белозеров П. А., Швецов В. А., Белавина О. А., Шунькин Д. В., Коростылев Д. В., Пахомов В. А., Малиновский С. А. Обоснование способа выбора контрольных точек для измерения защитного потенциала стальных корпусов кораблей и судов // Вестн. Камчат. гос. техн. ун-та. 2014. № 28. С. 6–11.

21. Швецов В. А., Белозеров П. А., Белавина О. А., Шунькин Д. В., Малиновский С. А. Обоснование выбора необходимого числа параллельных измерений защитного потенциала стальных корпусов кораблей и судов

в контрольной точке // Вестн. Камчат. гос. техн. ун-та. 2016. № 35. С. 40–46.

22. ГОСТ Р 8.736-2011. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения пря-

мые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200089016> (дата обращения: 14.09.2022).

References

1. Zobochev Iu. E., Solinskaia E. V. *Zashchita sudov ot korrozii i obrastaniia* [Protection of ships against corrosion and fouling]. Moscow, Transport Publ., 1984. 174 p.

2. Shvetsov V. A., Belov O. A., Belozerov P. A., Shun'kin D. V. *Kontrol' sistem protekturnoi zashchity stal'nykh sudov i korablei: monografiia* [Control of protective protection systems for steel vessels and ships: monograph]. Petropavlovsk-Kamchatskii, Izd-vo KamchatGTU, 2016. 109 p.

3. Korobtsov I. M. *Tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont flota* [Fleet maintenance and repair]. Moscow, Transport Publ., 1975. 195 p.

4. RD 31.28.10-97. *Kompleksnye metody zashchity sudovykh konstruksii ot korrozii* [RD 31.28.10-97. Integrated methods for protecting ship structures from corrosion]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200049727> (accessed: 11.09.2022).

5. GOST 9.056-75. *Stal'nye korpusa korablei i sudov. Obshchie trebovaniia k elektrokhimicheskoi zashchite pri dolgovremennom stoianochnom rezhime* [GOST 9.056-75. Steel hulls of ships and vessels. General requirements for electrochemical protection during long-term parking mode]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200015017> (accessed: 11.09.2022).

6. GOST 26501-85. *Korpusa morskikh sudov. Obshchie trebovaniia k elektrokhimicheskoi zashchite* [GOST 26501-85. Marine hulls. General requirements for electrochemical protection]. Moscow, Izd-vo standartov, 1985. 7 p.

7. Chandler K. A. *Marine and Offshore Corrosion*. Published by Butterworth-Heinemann, 1985. 413 p. (Russ. ed.: Chendler K. A. Korroziia sudov i morskikh sooruzhenii / per. s angl. I. A. Barkhatova, V. I. Lemkova. L.: Sudostroenie, 1988. 320 s.).

8. ISO 15589-2-12. *Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Cathodic protection of pipeline transportation systems*. Available at: <https://www.iso.org/standard/51992.html> (accessed: 14.09.2022).

9. VSN 39-84. *Katodnaia zashchita ot korrozii oborudovaniia i metallicheskiikh konstruksii gidrotekhnicheskikh sooruzhenii* [VSN 39-84. Cathodic protection against corrosion of equipment and metal structures of hydraulic structures]. Leningrad, Minenergo SSSR, 1985. 35 p.

10. Iastrebov D. P., Belov O. A., Shvetsov V. A., Belavina O. A. O vybere elektrodov dlia kontroliia sistem protekturnoi zashchity stal'nykh sudov i korablei [On choosing electrodes for monitoring sacrificial protection systems of steel ships and vessels]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaia tekhnika i tekhnologiiia*, 2019, no. 4, pp. 39-45.

11. Iastrebov D. P., Belov O. A., Shvetsov V. A., Ushakevich A. P., Kuznetsov G. V. O tselesoobraznosti ispol'zovaniia khloroserebrianykh elektrodov dlia kontroliia sistem protekturnoi zashchity stal'nogo korpusa sudna. Tekhnicheskaiia ekspluatatsiia vodnogo transporta: problemy i puti razvitiia [On feasibility of using silver chloride electrodes for monitoring sacrificial protection systems of ship

steel hull. Technical operation of water transport: problems and ways of development]. *Materialy II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Petropavlovsk-Kamchatskii, 23–25 oktiabria 2019 g.)*. Petropavlovsk-Kamchatskii, Izd-vo KamchatGTU, 2020. Pp. 121-124.

12. Iastrebov D. P., Shun'kin D. V., Rogozhnikov A. O., Kuznetsov G. V. K voprosu ispol'zovaniia tsinkovykh elektrodov dlia kontroliia protekturnoi zashchity sudov i korablei [On using zinc electrodes to control sacrificial protection of ships]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaia tekhnika i tekhnologiiia*, 2021, no. 2, pp. 16-23.

13. Iastrebov D. P., Belov O. A., Shvetsov V. A., Belavina O. A., Zaitsev S. A. K voprosu ispol'zovaniia stal'nykh plastin dlia kontroliia protekturnoi zashchity korpusov sudov i korablei. Tekhnicheskaiia ekspluatatsiia vodnogo transporta: problemy i puti razvitiia [On using steel plates to control sacrificial protection of ship hulls. Technical operation of water transport: problems and ways of development]. *Materialy II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Petropavlovsk-Kamchatskii, 23–25 oktiabria 2019 g.)*. Petropavlovsk-Kamchatskii, Izd-vo KamchatGTU, 2020. Pp. 125-129.

14. Iastrebov D. P., Belov O. A., Shvetsov V. A., Tarabanov B. V., Zaitsev S. A. K voprosu ispol'zovaniia elektrodov iz sudokorpusnoi stali dlia kontroliia zashchishchennosti ot korrozii korpusov sudov i korablei [On using electrodes from ship hull steel to control corrosion protection of vessel and ship hulls]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaia tekhnika i tekhnologiiia*, 2020, no. 2, pp. 15-21.

15. Iastrebov D. P., Belov O. A., Shvetsov V. A., Ushakevich A. P., Kuznetsov G. V., Tarabanov B. V. K voprosu ispol'zovaniia aliuminievykh elektrodov dlia kontroliia zashchishchennosti ot korrozii stal'nykh korpusov sudov i korablei [On using aluminum electrodes for monitoring corrosion protection of steel hulls of ships and vessels]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaia tekhnika i tekhnologiiia*, 2021, no. 3, pp. 23-32.

16. Iastrebov D. P. K voprosu ispol'zovaniia mednykh elektrodov dlia kontroliia zashchishchennosti ot korrozii stal'nykh korpusov sudov i korablei [On using copper electrodes to control corrosion protection of steel hulls of ships and vessels]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaia tekhnika i tekhnologiiia*, 2021, no. 4, pp. 43-51.

17. Belov O. A., Shvetsov V. A., Iastrebov D. P. Obosnovanie optimal'noi periodichnosti kontroliia raboty protekturnoi zashchity stal'nykh korpusov sudov [Substantiation of optimal frequency of monitoring protection of ship steel hulls]. *Ekspluatatsiia morskogo transporta*, 2017, no. 1 (82), pp. 41-48.

18. Belov O. A., Shvetsov V. A., Iastrebov D. P., Belavina O. A., Shun'kin D. V. Vnedrenie usovershenstvovannogo sposoba kontroliia sistem protekturnoi zashchity stal'nykh korpusov sudov Kamchatskogo flota [Introducing

improved method for monitoring sacrificial protection systems of ship steel hulls of Kamchatka fleet]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2017, no. 39, pp. 6-11.

19. Shvetsov V. A., Belov O. A., Belavina O. A., Iastrebov D. P. Obosnovanie vozmozhnosti isklucheniia vneshnego osmotra sistem protekturnoi zashchity stal'nykh korpusov sudov [Substantiation of excluding external inspection of sacrificial protection systems of ship steel hulls]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaiia tekhnika i tekhnologiia*, 2017, no. 1, pp. 29-38.

20. Belozеров P. A., Shvetsov V. A., Belavina O. A., Shun'kin D. V., Korostylev D. V., Pakhomov V. A., Malinovskii S. A. Obosnovanie sposoba vybora kontrol'nykh tochek dlia izmereniia zashchitnogo potentsiala stal'nykh korpusov korablei i sudov [Justification of method for selecting control points for measurement protective potential of steel hulls of ships and vessels]. *Vestnik Kamchatskogo*

gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2014, no. 28, pp. 6-11.

21. Shvetsov V. A., Belozеров P. A., Belavina O. A., Shun'kin D. V., Malinovskii S. A. Obosnovanie vybora neobkhodimogo chisla parallel'nykh izmerenii zashchitnogo potentsiala stal'nykh korpusov korablei i sudov v kontrol'noi toчке [Justification of choosing required number of parallel measurements of protective potential of steel hulls of ships and vessels at control point]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2016, no. 35, pp. 40-46.

22. GOST R 8.736-2011. Gosudarstvennaia sistema obespecheniia edinstva izmerenii (GSI). Izmereniia priamye mnogokratnye. Metody obrabotki rezul'tatov izmerenii. Osnovnye polozenia [GOST R 8.736-2011. State System for Ensuring the Uniformity of Measurements (SSM). Multiple direct measurements. Methods for processing measurement results. Key points]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200089016> (accessed: 14.09.2022).

Статья поступила в редакцию 03.10.2022; одобрена после рецензирования 17.10.2022; принята к публикации 26.10.2022
The article was submitted 03.10.2022; approved after reviewing 17.10.2022; accepted for publication 26.10.2022

Информация об авторе / Information about the author

Дмитрий Павлович Ястребов – аспирант кафедры энергетических установок и электрооборудования судов; Камчатский государственный технический университет; restart1101@mail.ru

Dmitry P. Yastrebov – Postgraduate Student of the Department of Ship Power Plants and Electrical Equipment; Kamchatka State Technical University; restart1101@mail.ru

