

Научная статья
УДК 620.19:629.5.023
doi: 10.24143/2073-1574-2021-4-43-51

К вопросу использования медных электродов для контроля защищенности от коррозии стальных корпусов судов и кораблей

Дмитрий Павлович Ястребов ✉

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

Аннотация. Обозначена одна из причин отсутствия должного контроля работы систем электрохимической защиты морских судов, заключающаяся в отсутствии удобных в эксплуатации технических средств, в первую очередь электродов сравнения, отмечено несовершенство хлорсеребряного электрода сравнения. Рассматривается один из подходов к разработке удобных в эксплуатации электродов сравнения. В качестве первого электрода использовали стандартный хлорсеребряный электрод сравнения, в качестве второго и третьего электродов использовали экспериментальные электроды, выполненные из медной жилы провода, очищенной от изоляции. Опытное судно находится в г. Петропавловске-Камчатском в стояночном режиме в торговом порту у пирса. Оценку работы коррозионной защиты корпуса судна производили при помощи измерений потенциалов между металлическим корпусом и электродом сравнения в заданной точке. Измерения выполняли в определенный промежуток времени: с 10.06.2021 по 18.06.2021, оценка контроля антикоррозионной защиты корпуса осуществлялась с помощью пятидесяти последовательных измерений, которые заносились в таблицы контроля. Отмечено, что результаты контроля протекторной защиты корпуса судна, полученные с помощью экспериментальных медных электродов из электромонтажных проводов, соответствуют нормативным требованиям; у экипажа судна отсутствуют финансовые, организационные и технические затруднения, возникающие при эксплуатации стандартных хлорсеребряных электродов сравнения. Сделаны выводы о возможности использования регламентированных и нерегламентированных электродов при организации коррозионного контроля на судах и металлических морских сооружениях.

Ключевые слова: защита стальных корпусов судов и кораблей, коррозия, контроль работы систем протекторной защиты, электроды сравнения, потенциал корпуса судна

Для цитирования: Ястребов Д. П. К вопросу использования медных электродов для контроля защищенности от коррозии стальных корпусов судов и кораблей // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2021. № 4. С. 43–51. doi: 10.24143/2073-1574-2021-4-43-51.

Original article

On problem of using copper electrodes to maintain protection against corrosion of steel hulls of ships and vessels

Dmitry P. Yastrebov ✉

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

Abstract. The paper focuses on the reasons for the lack of proper control of the operation of the electrochemical protective systems of sea vessels, such as the absence of convenient technical equipment, primarily the reference electrodes, as well as the imperfection of the silver chloride reference electrode. There is considered the approach to the development of easy-to-use reference electrodes. A standard silver chloride reference electrode was used as the first electrode; experi-

mental electrodes made of a copper wire strand stripped of insulation were used as the second and third electrodes. The experimental vessel is docked in the commercial port of Petropavlovsk-Kamchatsky. The corrosion protection of the ship's hull was evaluated by measuring the potentials between the metal hull and the reference electrode at a given point. The measurements were performed at a time interval from 06/10/2021 to 06/18/2021, evaluating the control of the hull corrosion protection was made by taking 50 successive measurements, which were entered into the control tables. It has been stated that the results of ship's hull sacrificial protection control by using experimental copper electrodes from cabling comply with the regulatory requirements. The ship's crew didn't have any financial, organizational or technical problems, which could usually arise from the operation of standard silver chloride reference electrodes. It has been inferred that using regulated and non-regulated electrodes in the organization of corrosion control on ships and metal offshore structures is possible.

Keywords: protection of steel hulls of ships and vessels, corrosion, monitoring the operation of protection systems, reference electrodes, vessel hull potential

For citation: Yastrebov D. P. On problem of using copper electrodes to maintain protection against corrosion of steel hulls of ships and vessels. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2021;4:43-51. (In Russ.) doi: 10.24143/2073-1574-2021-4-43-51.

Введение

Совершенствование контроля работы систем электрохимической защиты (ЭХЗ) морских судов и кораблей является актуальной проблемой [1–6]. На многих морских судах (например, на судах рыбопромыслового флота) экипажи судов не способны осуществить качественный контроль работы систем ЭХЗ [7–13]. Одной из причин отсутствия должного контроля работы систем ЭХЗ морских судов является отсутствие удобных в эксплуатации технических средств, в первую очередь электродов сравнения, а также несовершенство хлорсеребряного электрода сравнения (ХСЭ), входящего в состав систем ЭХЗ [2–14]. Приобретение, проверка, хранение и эксплуатация электродов сравнения не должны вызывать у экипажей судов организационных, финансовых и технических затруднений [2]. Российские и зарубежные исследователи [2, 3, 7–17] постоянно занимаются усовершенствованием электродов сравнения. Например, авторы работ [2, 7–15] предлагают использовать вместо ХСЭ судовые электротехнические изделия (щеточки для электрических машин). Однако использование щеток в качестве электродов сравнения вызывает у некоторых членов экипажей судов затруднения, обусловленные недостаточно высокой их квалификацией [11]. Поэтому научные исследования, направленные на совершенствование судовых электродов сравнения, необходимо продолжить [14]. В настоящей статье рассматривается один из подходов к разработке удобных в эксплуатации электродов сравнения для морских судов и кораблей.

Цель настоящего исследования – обосновать возможность использования электродов сравнения, выполненных из проводов, для контроля работы систем ЭХЗ морских судов.

Методика испытаний электродов сравнения

Оценивали защищенность корпуса судна ПМ-15 от коррозии методом измерения потенциала корпуса в заданной контрольной точке [5, 10]. Для этого использовали портативное измерительное устройство (ампервольтметр MS 8239С) и три портативных электрода сравнения [2]. В роли первого электрода использовали ХСЭ [5]. В роли второго и третьего электродов использовали опытные электроды сравнения, выполненные из медной жилы электропроводного провода, очищенной от изоляции. Судно находится в стояночном режиме в г. Петропавловске-Камчатском в торговом порту у пирса № 13. Восстановительные работы по корпусу судна в доке последний раз осуществлялись в 1990 г. Пользовались методикой измерений, описанной в работах [15, 16, 18, 19]. Оценивали работу коррозионной защиты корпуса судна при помощи измерений потенциалов между металлическим корпусом и электродом сравнения в заданной точке [10].

Схема контрольной измерительной электрической цепи приведена на рис. 1.

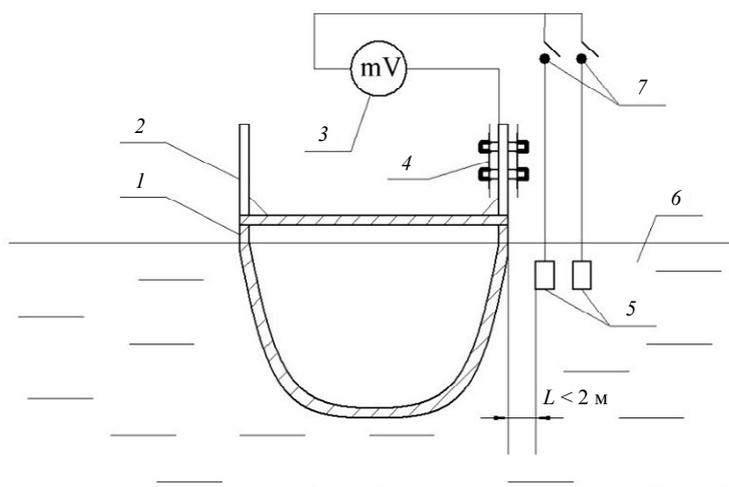


Рис. 1. Схема измерительной электрической цепи, используемой для контроля протекторной защиты корпуса судна: 1 – корпус судна; 2 – фальшборт судна; 3 – переносной электроизмерительный прибор; 4 – прижимной контакт; 5 – переносные электроды сравнения; 6 – морская вода; 7 – выключатели

Fig. 1. Diagram of a measuring electrical circuit used to control the sacrificial protection of the ship's hull:
1 - ship's hull; 2 - ship's bulwark; 3 - portable electrical measuring device; 4 - clamping contact;
5 - portable reference electrodes; 6 - sea water; 7 - switches

Измерения разности потенциалов между корпусом судна и электродами осуществляли в соответствии с указаниями [7–15]. Представленные измерения выполняли в определенный промежуток времени – с 10.06.2021 по 18.06.2021, при этом оценка контроля антикоррозионной защиты корпуса осуществлялась с помощью 50-и последовательных измерений, которые занесли в таблицы контроля. Пауза между измерениями составляла 5 с. Точность измерений оценивали с помощью коэффициента их вариации V , % [20]. Для статистической обработки результатов эксперимента использовали программное обеспечение [21].

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; D – дисперсия; σ – среднее квадратичное отклонение; Kd – линейный коэффициент вариации, %; Kr – коэффициент осцилляции, %; V – коэффициент вариации, %; R – размах вариации; d – среднее линейное отклонение).

Результаты контроля защищенности от коррозии корпуса судна ПМ-15 с 10.06.2021 по 18.06.2021 Results of monitoring the corrosion protection of the PM-15 vessel hull from 06/10/2021 to 06/18/2021

№ п/п	Результаты контроля потенциала корпуса судна U , мВ, полученные с помощью электродов, в день														
	Электрод № 1 (ХСЭ)					Электрод № 2 (медный электрод)					Электрод № 3 (медный электрод)				
	10.06.2021	12.06.2021	14.06.2021	16.06.2021	18.06.2021	10.06.2021	12.06.2021	14.06.2021	16.06.2021	18.06.2021	10.06.2021	12.06.2021	14.06.2021	16.06.2021	18.06.2021
1	689	644	672	664	689	440	448	452	465	422	437	442	447	454	415
2	690	644	673	664	690	440	448	452	465	422	437	442	447	454	415
3	690	644	673	665	690	440	448	452	465	422	437	442	447	454	415
4	691	645	673	666	690	440	448	452	465	422	437	442	447	454	415
5	691	646	673	666	690	441	448	453	465	423	437	442	447	454	415
6	691	647	674	666	690	441	449	453	465	423	437	442	447	454	415

Окончание табл.
Table cont'd

№ п/п	Результаты контроля потенциала корпуса судна $U =$, мВ, полученные с помощью электродов, в день														
	Электрод № 1 (ХСЭ)					Электрод № 2 (медный электрод)					Электрод № 3 (медный электрод)				
	10.06.2021	12.06.2021	14.06.2021	16.06.2021	18.06.2021	10.06.2021	12.06.2021	14.06.2021	16.06.2021	18.06.2021	10.06.2021	12.06.2021	14.06.2021	16.06.2021	18.06.2021
7	691	649	674	667	691	441	449	453	465	423	436	442	447	454	415
8	691	650	675	667	691	441	449	454	466	423	437	442	447	455	415
9	691	652	675	667	692	441	449	454	466	423	438	442	448	455	415
10	691	653	675	668	692	441	449	454	466	423	438	443	448	455	416
11	692	654	675	668	692	441	449	454	466	423	438	443	448	455	416
12	692	655	676	669	692	441	449	454	466	423	438	443	448	455	416
13	692	656	676	670	692	441	449	454	466	423	438	443	448	455	416
14	692	657	676	670	692	441	449	454	466	424	438	443	448	455	416
15	692	658	676	671	692	441	450	454	466	424	438	443	448	455	416
16	692	659	676	671	693	441	450	454	466	424	438	443	448	455	416
17	692	660	676	672	693	441	450	455	466	424	438	443	448	456	416
18	692	660	677	672	693	441	450	455	466	424	438	443	448	456	416
19	692	661	677	672	693	441	450	455	466	424	438	443	448	456	416
20	692	661	677	673	693	442	450	455	466	424	438	443	448	456	417
21	693	661	677	673	693	442	450	456	466	424	439	443	449	456	417
22	693	661	677	673	693	442	450	456	466	424	439	443	449	456	417
23	693	661	677	674	693	442	451	456	466	424	439	443	449	456	417
24	694	662	678	674	694	442	451	456	466	424	439	444	449	456	417
25	693	661	679	675	694	442	451	456	466	424	439	444	449	456	417
26	693	661	680	676	693	442	451	456	467	424	439	444	449	457	417
27	694	662	680	676	693	442	451	456	467	424	439	444	449	457	417
28	694	663	680	676	694	442	451	456	467	424	439	444	449	457	417
29	694	663	680	676	694	442	451	456	467	424	439	444	449	457	417
30	695	663	680	676	694	442	452	456	467	424	439	444	449	457	417
31	695	663	680	676	694	443	452	457	467	425	439	444	449	457	418
32	695	663	681	676	694	443	452	457	467	425	439	444	449	457	418
33	696	663	681	677	694	444	452	457	467	425	440	444	449	457	418
34	696	664	681	677	694	444	452	457	467	425	440	444	449	457	418
35	696	664	682	677	694	444	452	458	468	425	440	445	450	457	418
36	697	664	682	678	694	444	452	458	468	425	440	445	450	458	418
37	697	664	683	678	695	445	452	458	468	425	440	445	450	458	418
38	697	665	684	678	695	445	452	458	468	425	440	445	450	458	418
39	697	665	684	678	695	445	452	458	468	425	440	445	450	458	418
40	698	665	685	678	695	446	452	459	469	425	440	445	450	458	418
41	698	665	686	679	695	446	453	459	469	425	440	445	450	458	418
42	698	665	687	679	695	446	453	459	469	426	440	445	450	458	418
43	698	666	687	679	695	447	453	459	469	426	441	446	450	458	419
44	698	666	688	679	695	447	454	459	469	426	441	446	451	459	419
45	699	666	688	679	695	447	455	459	469	427	441	446	451	459	419
46	699	667	688	679	695	447	455	459	469	427	441	446	451	459	419
47	699	667	688	680	695	447	455	459	469	427	441	446	451	459	419
48	700	667	688	680	696	447	455	459	469	427	442	446	451	459	419
49	700	668	688	680	696	440	455	459	469	427	442	446	451	459	419
50	700	668	688	681	696	440	455	459	469	427	442	446	451	460	419
U_{cp} , мВ	694	660	680	674	693	443	451	456	467	424	439	444	449	457	417
R	11	24	17	17	7	7	7	7	5	5	6	4	4	6	4
d	3	6	4	4	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1
D	10	50	27	25	3	6	5	5	2	2	2	2	2	3	2
σ	3,17	7,04	5,16	5,00	1,77	2,42	2,15	2,29	1,44	1,43	1,47	1,35	1,28	1,67	1,36
$Kd, \%$	0,44	0,90	0,58	0,58	0,13	0,45	0,44	0,44	0,21	0,24	0,26	0,26	0,23	0,31	0,27
$Kr, \%$	1,58	3,64	2,5	2,52	1,01	1,58	1,55	1,53	1,07	1,18	1,37	0,90	0,89	1,31	0,96
$V, \%$	0,46	1,07	0,76	0,74	0,25	0,55	0,48	0,50	0,31	0,34	0,34	0,30	0,29	0,37	0,33

Согласно результатам коррозионного контроля (табл.) хлорсеребряный и медные электроды сравнения обеспечивают высокую точность [20] показателей контрольных измерений. Следует отметить:

- стоимость медного электрода сравнения в среднем на 5 500 руб. меньше стоимости ХСЭ;
- эксплуатировать и хранить медные электроды сравнения на судне проще, чем ХСЭ.

Динамика изменений результатов контрольных измерений с помощью разных электродов сравнения проиллюстрирована на рис. 2, 3, 4.

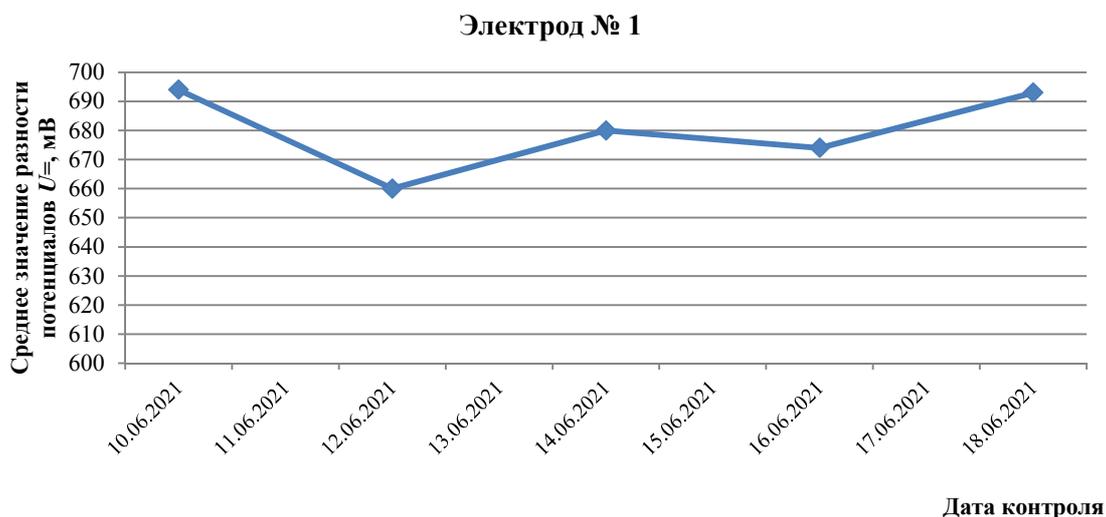


Рис. 2. Динамика результатов контрольных измерений, полученных с помощью электрода № 1 (ХСЭ), в период с 10.06.2021 по 18.06.2021

Fig. 2. Dynamics of the control measuring results obtained using electrode No. 1 in the period from 06/10/2021 to 06/18/2021 (Silver Chloride Electrode)

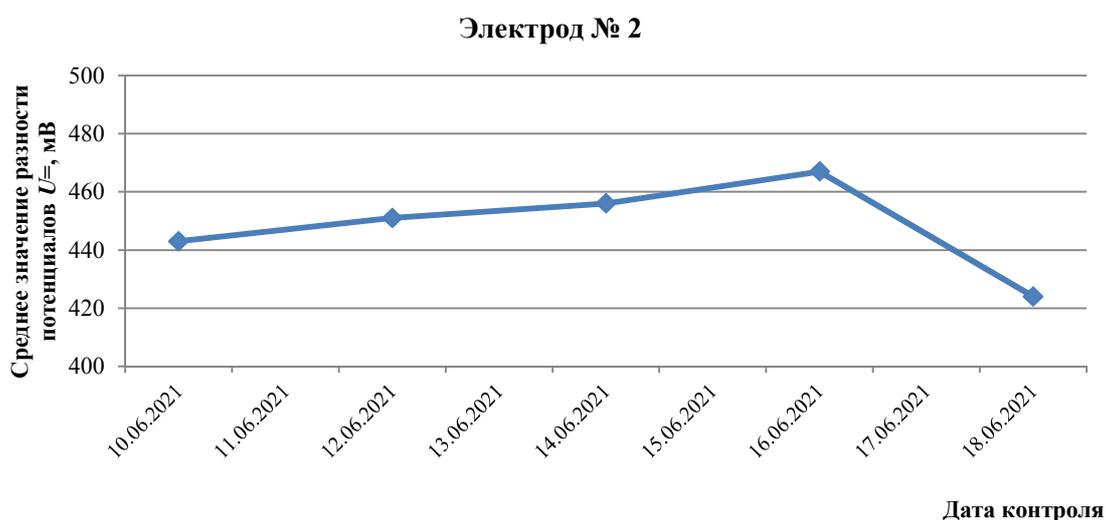


Рис. 3. Динамика результатов контрольных измерений, полученных с помощью электрода № 2 (медный электрод), в период с 10.06.2021 по 18.06.2021

Fig. 3. Dynamics of the control measuring results obtained using electrode No. 2 in the period from 06/10/2021 to 06/18/2021 (Copper Electrode)

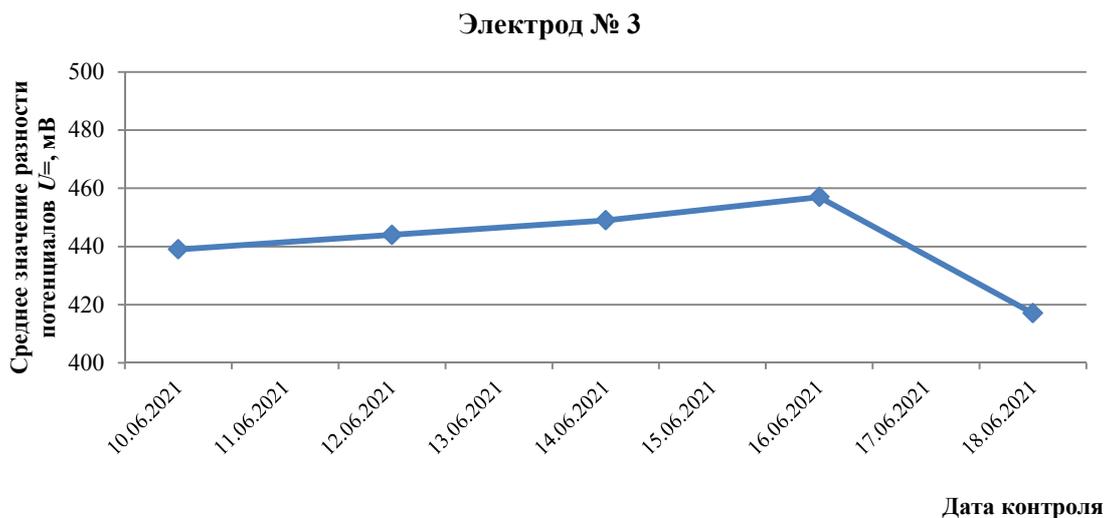


Рис. 4. Динамика результатов контрольных измерений, полученных с помощью электрода № 3 (медный электрод), в период с 10.06.2021 по 18.06.2021
Fig. 4. Dynamics of the results of control measurements obtained using electrode No. 3 in the period from 06/10/2021 to 06/18/2021 (Copper Electrode)

Согласно результатам выполненных исследований (табл., рис. 2–4) при использовании ХСЭ результаты контрольных измерений изменялись незначительно, т. к. $\Delta U < 50$ мВ [6]. При этом они соответствуют реальному (неработоспособному) состоянию системы протекторной защиты судна [6]. Результаты контроля коррозионной защиты корпуса судна ПМ-15, полученные в это же время с помощью медного электрода, также малосущественно различаются между собой, т. к. $\Delta U < 50$ мВ [6]. В соответствии с требованиями национального стандарта Российской Федерации [20] обработка результатов измерений, полученных с помощью электрода № 1 (ХСЭ) и электродов № 2, 3 (медные электроды), относится к категории точных измерений. Коэффициент вариации результатов измерений, полученных с помощью электродов № 2 и 3 (медные электроды), изменялся в интервале значений 0,34–0,50 и 0,29–0,37 %. Коэффициент вариации результатов измерений, полученных с помощью электрода № 1 (ХСЭ), изменялся в диапазоне значений 0,25–1,07 %. Таким образом, использование электродов № 2 и 3 обеспечивает высокую точность результатов контроля защищенности корпуса судна от коррозии [5, 6].

Выводы

1. Результаты контроля протекторной защиты корпуса судна, полученные с помощью электрода сравнения, выполненного из медного электромонтажного провода, соответствуют нормативным требованиям, при этом экипаж судна освобождается от финансовых, организационных и технических затруднений, возникающих при эксплуатации стандартных хлорсеребряных электродов сравнения.

2. Согласно результатам проведенных испытаний возможности использования регламентированных и нерегламентированных электродов при организации коррозионного контроля на судах и металлических морских сооружениях можно сделать вывод о рекомендации применения такого вида контроля коррозионной защиты данными электродами экипажам судов и судоремонтным бригадам.

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: 05.10.2019).

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: 05.10.2019).
6. ГОСТ 26501-85. Корпуса морских судов. Общие требования к электрохимической защите. М.: Изд-во стандартов, 1985. 7 с.
7. 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.
8. 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. Вып. 39. С. 6–11.
9. 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.
10. 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. Вып. 28. С. 6–11.
11. Швецов В. А., Белозеров П. А., Адельшина Н. В., Белавина О. А., Петренко О. Е., Шунькин Д. В., Кириносенко В. В. Влияние квалификации оператора на результаты измерения защитного потенциала стальных корпусов кораблей и судов // Вестн. Камчат. гос. техн. ун-та. 2014. Вып. 30. С. 46–54.
12. 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. Вып. 35. С. 40–46.
13. Швецов В. А., Белов О. А., Белозеров П. А., Белавина О. А., Кириносенко В. В. Обоснование необходимости подготовки операторов для измерения потенциала стальных корпусов судов и кораблей // Вестн. Камчат. гос. техн. ун-та. 2016. Вып. 37. С. 19–24.
14. 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. 2019. № 4. С. 39–45.
15. 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 Междунар. науч.-практ. конф. (Петропавловск-Камчатский, 23–25 октября 2019 г.). Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатГТУ, 2020. С. 121–124.
16. 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 Междунар. науч.-практ. конф. (Петропавловск-Камчатский, 23–25 октября 2019 г.). Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатГТУ, 2020. С. 125–129.
17. Ястребов Д. П., Белов О. А., Швецов В. А., Ушакевич А. П., Кузнецов Г. В., Тарабанов Б. В. К вопросу использования алюминированных электродов для контроля защищенности от коррозии стальных корпусов судов и кораблей // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. 2021. № 3. С. 23–32.
18. 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. 2021. № 2. С. 16–23.
19. 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. 2020. № 2. С. 15–21.
20. ГОСТ Р 8.736-2011. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200089016> (дата обращения: 05.10.2019).
21. Microsoft Office Excel 365: 2002 (16.0.12527.20278) / 10 марта 2020. URL: http://www.naslozhdaysya.com/load/soft/microsoft_office_2016_2019_16_0_12527_20278_by_m0nkrus/9-1-0-31256 (дата обращения: 27.09.2020).

REFERENCES

1. Zobochev Iu. E., Solinskaia E. V. *Zashchita sudov ot korrozii i obrastaniia* [Protection of ships from corrosion and fouling]. Moscow, Transport Publ., 1984. 174 p.
2. Shvetsov V. A., Belov O. A., Belozеров P. A., Shun'kin D. V. *Kontrol' sistem protekturnoi zashchity stal'nykh sudov i korablei: monografiia* [Control of protection systems of steel ships and ships: monograph]. Petro-pavlovsk-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 konstrukttsii ot korrozii* [RD 31.28.10-97. Complex methods of protection of ship structures from corrosion]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200049727> (accessed: 05.10.2019).
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 in long-term standby mode]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200015017> (accessed: 05.10.2019).
6. GOST 26501-85. *Korpusa morskikh sudov. Obshchie trebovaniia k elektrokhimicheskoi zashchite* [GOST 26501-85. Hulls of sea vessels. General requirements for electrochemical protection]. Moscow, Izd-vo standartov, 1985. 7 p.
7. Belov O. A., Shvetsov V. A., Iastrebov D. P. Obosnovanie optimal'noi periodichnosti kontrolya raboty protekturnoi zashchity stal'nykh korpusov sudov [Substantiation of optimal frequency of control over sacrificial protection of ship steel hulls]. *Ekspluatatsiia morskogo transporta*, 2017, no. 1 (82), pp. 41-48.
8. Belov O. A., Shvetsov V. A., Iastrebov D. P., Belavina O. A., Shun'kin D. V. Vnedrenie usovershenstvovannogo sposoba kontrolya sistem protekturnoi zashchity stal'nykh korpusov sudov Kamchatskogo flota [Implementing improved method for monitoring electrochemical protection systems of steel hulls of Kamchatka fleet]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2017, iss. 39, pp. 6-11.
9. 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 possibility of excluding external inspection of sacrificial protection systems of ship steel hulls]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaia tekhnika i tekhnologiya*, 2017, no. 1, pp. 29-38.
10. 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 toчек dlia izmereniia zashchitnogo potentsiala stal'nykh korpusov korablei i sudov [Substantiation of method for selecting control points for measurement protective potential of steel hulls of ships and vessels]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, iss. 28, pp. 6-11.
11. Shvetsov V. A., Belozеров P. A., Adel'shina N. V., Belavina O. A., Petrenko O. E., Shun'kin D. V., Kirnosenko V. V. Vliianie kvalifikatsii operatora na rezul'taty izmereniia zashchitnogo potentsiala stal'nykh korpusov korablei i sudov [Influence of operator's qualification on results of measuring protective potential of steel hulls of ships and vessels]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, iss. 30, pp. 46-54.
12. 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 tochke [Substantiation 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, iss. 35, pp. 40-46.
13. Shvetsov V. A., Belov O. A., Belozеров P. A., Belavina O. A., Kirnosenko V. V. Obosnovanie neobkhodimosti podgotovki operatorov dlia izmereniia potentsiala stal'nykh korpusov sudov i korablei [Substantiation of necessity of training operators for measuring potential of steel hulls of ships and vessels]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2016, iss. 37, pp. 19-24.
14. Iastrebov D. P., Belov O. A., Shvetsov V. A., Belavina O. A. O vybore elektrodov dlia kontrolya sistem protekturnoi zashchity stal'nykh sudov i korablei [On choosing electrodes for monitoring protection systems of steel ships and vessels]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaia tekhnika i tekhnologiya*, 2019, no. 4, pp. 39-45.
15. Iastrebov D. P., Belov O. A., Shvetsov V. A., Ushakevich A. P., Kuznetsov G. V. O tselesoobraznosti ispol'zovaniia khloroserebrianykh elektrodov dlia kontrolya sistem protekturnoi zashchity stal'nogo korpusa sudna. Tekhnicheskaiia ekspluatatsiia vodnogo transporta: problemy i puti razvitiia [On expediency of using silver chloride electrodes to control sacrificial protection systems of ship steel hull. Technical operation of water transport: problems and ways of development]. *Materialy Vtoroi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Petropavlovsk-Kamchatskii, 23-25 oktiabria 2019 g.)*. Petropavlovsk-Kamchatskii, Izd-vo KamchatGTU, 2020. Pp. 121-124.
16. Iastrebov D. P., Belov O. A., Shvetsov V. A., Belavina O. A., Zaitsev S. A. K voprosu ispol'zovaniia stal'nykh plastin dlia kontrolya protekturnoi zashchity korpusov sudov i korablei. Tekhnicheskaiia ekspluatatsiia vodnogo transporta: problemy i puti razvitiia [On problem of using steel plates to control sacrificial protection of ship hulls. Technical operation of water transport: problems and ways of development]. *Materialy Vtoroi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Petropavlovsk-Kamchatskii, 23-25 oktiabria 2019 g.)*. Petropavlovsk-Kamchatskii, Izd-vo KamchatGTU, 2020. Pp. 125-129.
17. 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 kontrolya zashchishchennosti ot korrozii stal'nykh korpusov sudov i korablei [On using aluminum electrodes for monitoring corrosion protection of ship steel hulls]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2021, no. 3, pp. 23-32.

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

19. 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 made of ship hull steel for monitoring corrosion protection of ship hulls]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaiia tekhnika i tekhnologiia*, 2020, no. 2, pp. 15-21.

20. *GOST R 8.736-2011. Gosudarstvennaia sistema obespecheniia edinstva izmerenii (GSI). Izmereniia priamye mnogokratnye. Metody obrabotki rezul'tatov izmerenii. Osnovnye polozeniia* [GOST R 8.736-2011. State system for ensuring the uniformity of measurements (GSI). Multiple direct measurements. Methods for processing measurement results. Basic provisions]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200089016> (accessed: 05.10.2019).

21. *Microsoft Office Excel 365: 2002 (16.0.12527.20278) / 10 marta 2020* [Microsoft Office Excel 365: 2002 (16.0.12527.20278) / 10 March 2020]. Available at: http://www.naslozhdaysya.com/load/soft/microsoft_office_2016_2019_16_0_12527_20278_by_m0nkrus/9-1-0-31256 (accessed: 27.09.2020).

Статья поступила в редакцию 06.10.2021; одобрена после рецензирования 15.10.2021; принята к публикации 27.10.2021.
The article was submitted 06.10.2021; approved after reviewing 15.10.2021; accepted for publication 27.10.2021.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Дмитрий Павлович Ястребов – аспирант кафедры энергетических установок и электрооборудования судов; Камчатский государственный технический университет; 683003, Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35; restart1101@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Dmitry P. Yastrebov – Postgraduate Student of the Department of Ship Power Plants and Electrical Equipment; Kamchatka State Technical University; 683003, Petropavlovsk-Kamchatsky, Kliuchevskaia St., 35; restart1101@mail.ru

