

Original article
UDC 620.19:629.5.023
<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2023-4-17-24>
EDN XTAZGH

On the issue of using control electrodes for the marine vessel protectors technical diagnostics

D. V. Shunkin¹, D. P. Yastrebov²✉, O. A. Belov³, V. A. Shvetsov⁴, K. V. Erev⁵

¹ “MC “Domovik”, LLC,
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

²⁻⁴ Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, restart1101@mail.ru✉

⁵ RSUE “Kamchatsky Vodokanal”,
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

Abstract. The world statistics of fleet accidents indicate that the most dangerous type of damage to engineering structures are fragile destructions that occur suddenly and spread at high speed. The causes of brittle fractures are defects such as corrosion-fatigue cracks, which often occur due to active corrosion processes. Seawater contains a large number of microorganisms that contribute to the acceleration of corrosion and fouling of metal structures in contact with water. The main method of corrosion protection of systems and mechanisms of marine fishing vessels is tread protection. To increase the effectiveness of tread protection, it is necessary to improve the methods of technical diagnostics of treads in order to use new methods at ship repair plants and marine vessels. It is proposed to use control electrodes made of stainless steel for technical diagnostics of marine vessel protectors. Laboratory tests of a stainless steel electrode and a standard silver chloride reference electrode were performed. The experiment took place at the installation for technical diagnostics of marine protectors, which was specially developed at the Department of “Power Plants and Electrical Equipment of Ships” of the Kamchatka State Technical University. Control measurements of the potential of the working protector were performed for five days, while 50 single control measurements of the working potential of the protector were performed daily using each electrode. The accuracy of the measurement results was evaluated using a mathematical and statistical method. The results of diagnosing the potential of the tread, obtained using an electrode made of stainless steel, comply with regulatory requirements. The proposed type of electrode can be used by ship crews for technical diagnostics of marine vessel protectors.

Keywords: protection of ships, tread protection against corrosion, protectors working potential, protectors technical diagnostics, measuring the working potential of a protector, standard reference electrode, non-standard reference electrode

For citation: Shunkin D. V., Yastrebov D. P., Belov O. A., Shvetsov V. A., Erev K. V. On the issue of using control electrodes for the marine vessel protectors technical diagnostics. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies.* 2023;4:17-24. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2023-4-17-24>. EDN XTAZGH.

Научная статья

К вопросу использования контрольных электродов для технического диагностирования протекторов морских судов

Д. В. Шунькин¹, Д. П. Ястребов²✉, О. А. Белов³, В. А. Швецов⁴, К. В. Ерев⁵

¹ ООО «УК «Домовик»,
Петропавловск-Камчатский, Россия

²⁻⁴ Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, Россия, restart1101@mail.ru✉

⁵ КГУП «Камчатский водоканал»,
Петропавловск-Камчатский, Россия

Аннотация. Мировая статистика аварийности флота свидетельствует о том, что наиболее опасным видом повреждений инженерных конструкций являются хрупкие разрушения, которые возникают внезапно и распространяются с большой скоростью. Причинами хрупких разрушений являются дефекты типа коррозионно-усталостных трещин, часто возникающих по причине активных коррозионных процессов. В морской воде содержится большое количество микроорганизмов, способствующих ускорению коррозии и обрастанию соприкасающихся с водой металлоконструкций. Основным методом защиты от коррозии систем и механизмов морских рыбопромысловых судов является протекторная защита. Для повышения эффективности протекторной защиты необходимо совершенствовать методы технического диагностирования протекторов с целью использования новых методов на судоремонтных заводах и морских судах. Для технического диагностирования протекторов морских судов предлагается использовать контрольные электроды, выполненные из нержавеющей стали. Выполнены лабораторные испытания электрода из нержавеющей стали и стандартного хлорсеребряного электрода сравнения. Эксперимент проходил на установке для технического диагностирования протекторов морских судов, которая была специально разработана на кафедре «Энергетические установки и электрооборудование судов» ФГБОУ ВО «Камчатский государственный технический университет». Контрольные измерения потенциала рабочего протектора выполняли в течение пяти дней, при этом ежедневно выполняли по 50 единичных контрольных измерений рабочего потенциала протектора с помощью каждого электрода. Точность результатов измерений оценивали с помощью математико-статистического метода. Результаты диагностирования потенциала протектора, полученные с помощью электрода, изготовленного из нержавеющей стали, соответствуют нормативным требованиям. Предлагаемый тип электрода может быть использован экипажами судов при техническом диагностировании протекторов морских судов.

Ключевые слова: защита судов, протекторная защита от коррозии, рабочий потенциал протекторов, техническое диагностирование протекторов, измерения рабочего потенциала протектора, стандартный электрод сравнения, нестандартный электрод сравнения

Для цитирования: Шуныкин Д. В., Ястребов Д. П., Белов О. А., Швецов В. А., Ерев К. В. К вопросу использования контрольных электродов для технического диагностирования протекторов морских судов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2023. № 4. С. 17–24. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2023-4-17-24>. EDN XTAZGH.

Introduction

The corrosion studies carried out by the authors [1, 2] on Kamchatka's sea-going vessels, have brought to light many cases of using low-quality protectors at these vessels. For this reason, the workers of small ship-repair enterprises of the Kamchatka Region applied to Kamchatka State Technical University with a request to develop a simple method for technical diagnostics of ship protectors in order to check their working capacity.

According to the standard requirements [3], when technically diagnosing ship protectors it is necessary to measure their operating potential and current output. These tread characteristics are assessed using an expensive set of devices [3]. It should be noted that standard methods [1, 4-10] of protector quality control are not intended for continuous non-destructive testing of individual marine protectors. It is also necessary to take into account the experience of using silver-chloride reference electrodes (CRE) on Kamchatka's sea-going vessels to measure the operating potential of protectors. No ship's crew of Kamchatka fleet uses CRE in their practical work [11]. This is because of the high cost of CRE and the complexity of its storage. For this reason, it is necessary to stop using CRE when organizing incoming quality control of marine protectors and replace it with a non-standard control

electrode intended for use at small ship repair enterprises and sea-going vessels.

The papers [12-17] present the results of tests of non-standard control electrodes (of aluminum, copper; electrodes made of ship's hull steel, etc.) used to control the tread protection systems of sea-going vessels' hulls. This paper presents the results of technical diagnostics of protectors using a control electrode made of stainless steel.

The purpose of the article is to exchange experience in the quality control of marine protectors.

Experimental part

For five days (from 11.14.2022 to 11.18.2022), the operating potential of a P-SSA-4 type protector made of AP-1 aluminum alloy was measured in the laboratory conditions. The measurements were performed using a UNI-T UT39E+ multimeter and two electrodes:

– CRE;

– a control electrode made of CR (chrome) 17 stainless steel in accordance with the recommendations of the regulatory document [3].

Fifty single measurements of the tread potential were carried out daily using each control electrode. The total time for carrying out daily measurements is approximately 10 minutes. A diagram of the installation for technical diagnostics of sea-going vessel protectors is shown in Fig. 1. This installation was devel-

oped at the department “Power Plants and Electrical Equipment of Ships” of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kamchatka State Technical University”. The installation contains a steel container 1 filled with sea water 6. In the center of the steel container, there is a dielectric perforated container 3, which is attached to the steel container 1 using an adhesive connection 2. At the bottom of the perforated container 3, there is an elastic dielectric lining 4 made from foam-rubber. The perforated dielectric container 3 contains a replaceable controlled protector 5 fixed in the vertical position with the help of a float 12 made of dielectric material. A measuring cable 8 is connected to the steel armature 15 of the controlled protector through a spring-loaded self-clamping contact (of crocodile type) 13. A cable tip 7 is soldered to the free end of the measuring cable 8. A cable tip 11 is soldered to the free end of the measuring cable 9 of the control electrode 10. The control electrode 10 is attached to the perforated container with the help of a rubber clamping ring 14.

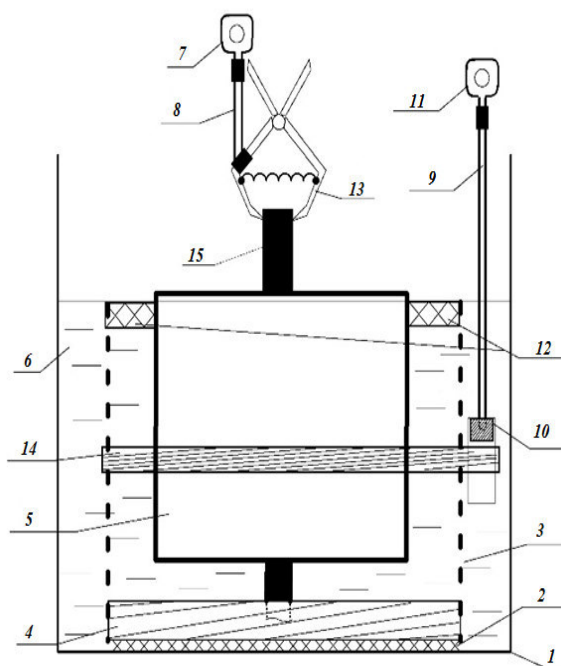


Fig. 1. The design of an installation for technical diagnostics of marine vessel protectors

The experiment has been performed the following way:

- the steel container was filled with sea water to the specified level;
- the controlled protector was placed in the perforated dielectric container in the vertical position which was fixed with the help of a dielectric float;
- the measuring cable equipped with a cable tip was connected to the steel armature of the protector with the help of a self-clamping contact;
- the electrode was placed in seawater, and attached to a perforated container with the help of a rubber clamping ring;
- 5 minutes after placing the controlled protector in sea water, the potential difference (ΔU) between the protector and the reference electrode was measured, 50 control measurements being performed with a pause of about 5 seconds between measurements, according to the recommendations [18-22];
- the obtained measurement results were entered into special forms, the experimental data were digitized, and initial mathematical processing of the measurement results was carried out with the help of the Microsoft Office Excel 365 software product;
- after processing the measurement results, electrode No. 1 was removed from the electrical measuring circuit, and electrode No. 2 was attached;
- then the measurement cycle was repeated with the help of control electrode No. 2, according to the recommendations proposed in papers [18-22].

It is worth noting that in order to connect the electrode test wire to an electrical measuring instrument (multimeter), one can use a bolted connection, a built-up connection, or a simple cable tip. The UNI-T UT39E+ multimeter was used in the experiment, but other electrical measuring instruments can also be used.

Results of the experiment and discussion

The results of the experiment and assessment of their metrological characteristics with the help of mathematical and statistical methods [23], obtained on the above installation by means of two control electrodes, are given in the Table (U_{av} – simple average, mV; R – variation range; d – average linear deviation; D – dispersion; σ – average quadratic deviation; Kd – linear variation coefficient, %; Kr – oscillation coefficient, %; V – variation coefficient, %) and in Fig. 2, 3.

Results of monitoring the working potential of P-KOA-4 protector from 11/14/2022 to 11/18/2022

No.	Results of measurements of the potential difference between the protector and control electrodes $U=$, mV, obtained with the help of electrodes per day									
	Electrode No. 1 CRE					Electrode No. 2 made from stainless steel				
	14/11/2022	15/11/2022	16/11/2022	17/11/2022	18/11/2022	14/11/2022	15/11/2022	16/11/2022	17/11/2022	18/11/2022
1	939	945	941	933	947	393	390	383	375	388
2	939	946	942	933	948	393	390	383	374	388
3	939	945	942	933	948	393	390	383	375	388
4	939	946	941	932	948	393	390	382	374	388
5	939	945	942	932	947	393	390	383	375	388
6	939	946	941	932	948	393	390	382	374	387
7	939	945	942	932	948	393	390	382	375	387
8	939	946	942	932	947	393	390	383	374	387
9	939	946	942	932	948	393	390	383	375	388
10	939	946	942	932	948	394	390	383	374	388
11	939	946	942	932	947	394	390	383	375	388
12	939	946	942	932	948	394	390	383	374	388
13	939	946	942	932	948	394	390	383	375	388
14	939	946	942	932	948	394	390	383	374	388
15	939	946	942	932	948	394	390	383	375	387
16	940	946	942	932	948	394	390	383	374	387
17	939	946	942	932	948	394	390	383	375	387
18	940	946	942	932	948	394	390	383	374	388
19	939	946	942	932	948	394	390	383	375	388
20	939	946	942	932	948	394	390	383	374	388
21	940	946	942	932	948	394	391	383	375	388
22	939	946	942	932	948	394	391	383	374	388
23	939	946	942	932	948	394	391	383	375	388
24	940	946	942	932	948	394	391	383	374	388
25	939	946	942	932	948	394	391	383	375	388
26	939	946	942	932	948	394	391	383	374	388
27	939	946	942	932	948	394	391	383	375	388
28	940	946	942	932	948	394	391	383	374	388
29	939	946	942	932	948	394	391	383	375	388
30	940	946	943	932	948	394	391	383	375	388
31	940	946	942	932	948	394	391	383	374	388
32	939	946	942	932	948	394	391	383	375	388
33	940	946	942	932	948	394	391	383	374	388
34	939	946	942	932	948	394	391	383	375	388
35	940	946	942	932	948	394	391	383	374	388
36	939	946	942	932	948	394	391	383	375	388
37	940	946	942	932	948	394	391	383	374	388
38	939	946	942	932	948	394	391	383	375	388
39	940	946	942	932	948	394	391	383	374	388
40	939	946	942	932	948	394	391	383	375	388
41	940	946	942	932	948	394	391	383	374	388
42	939	946	942	932	948	394	391	383	375	388
43	940	946	942	932	948	394	391	383	374	388
44	939	946	942	932	948	394	391	383	375	388
45	940	946	942	932	948	394	391	383	374	388
46	939	946	942	932	948	394	391	383	375	388
47	940	946	942	932	948	394	391	383	374	388
48	940	946	942	932	948	394	391	383	375	388
49	940	946	942	932	948	394	391	383	374	388
50	939	946	942	932	948	394	391	383	375	388

Шуныкин Д. В., Ястребов Д. П., Белов О. А., Швецов В. А., Ерев К. В. К вопросу использования контрольных электродов для технического диагностирования протекторов морских судов

Ending of the table

Shunkin D. V., Yastrebov D. P., Belov O. A., Shvetsov V. A., Erev K. V. On the issue of using control electrodes for the marine vessel protectors technical diagnostics

No.	Results of measurements of the potential difference between the protector and control electrodes $U_{\text{=}}$, mV, obtained with the help of electrodes per day									
	Electrode No. 1 CRE					Electrode No. 2 made from stainless steel				
	14/11/2022	15/11/2022	16/11/2022	17/11/2022	18/11/2022	14/11/2022	15/11/2022	16/11/2022	17/11/2022	18/11/2022
U_{av} , mV	939.34	945.92	941.96	932.06	947.92	393.82	390.60	382.94	374.52	387.88
R	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
d	0.45	0.15	0.12	0.11	0.15	0.30	0.48	0.11	0.50	0.21
D	0.22	0.07	0.08	0.06	0.07	0.15	0.24	0.06	0.25	0.11
σ	0.48	0.27	0.28	0.24	0.27	0.39	0.49	0.24	0.50	0.33
Kd , %	0.05	0.02	0.01	0.01	0.02	0.07	0.12	0.03	0.13	0.05
Kr , %	0.11	0.11	0.21	0.11	0.11	0.25	0.26	0.26	0.27	0.26
V , %	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.10	0.13	0.06	0.13	0.08

Electrode No. 1

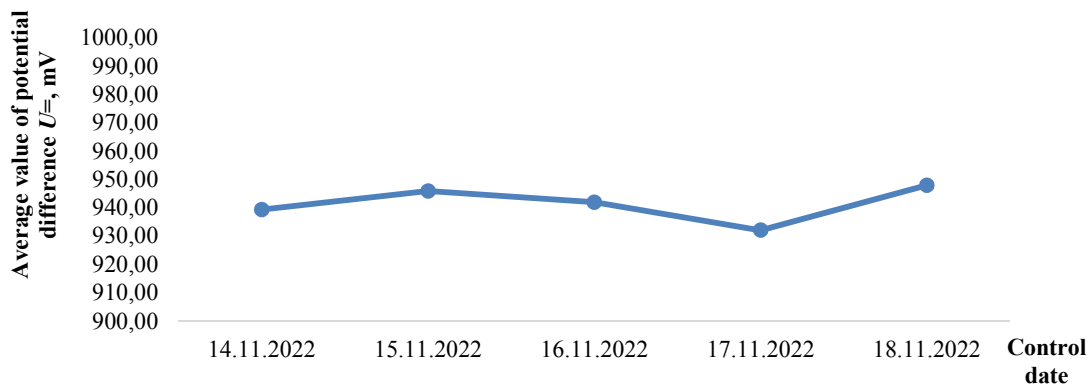


Fig. 2. Dynamics of the results of the potential difference measuring in the period from November 14, 2022 to November 18, 2022, obtained with the help of electrode No. 1 (CRE)

Electrode No. 2

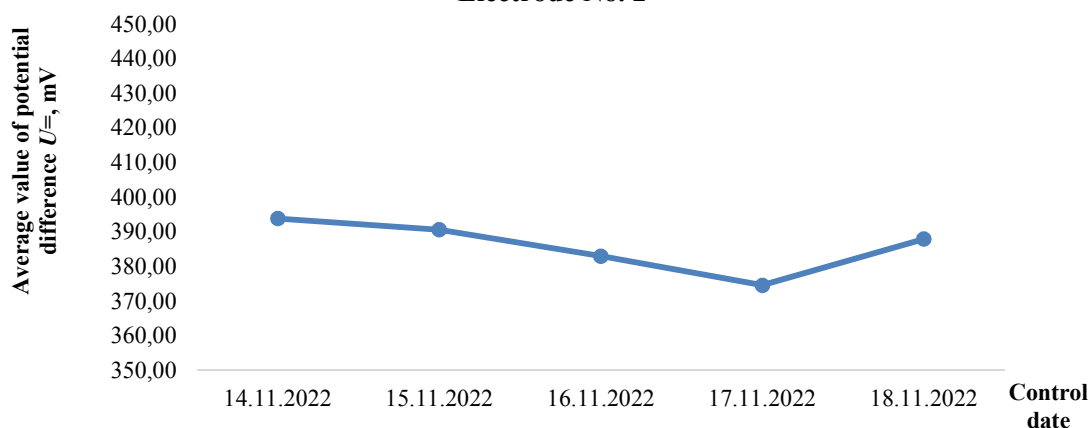


Fig. 3. Dynamics of the results of the potential difference measuring in the period from November 14, 2022 to November 18, 2022, obtained with the help of electrode No. 2 made of stainless steel

The results of the experiment given in the Table show that each group of measurements is homogeneous, the degree of dispersion of the measurement results is insignificant, since $V < 1\%$. The dynamics of changes in the results of the potential's measurements over the period of the experiment is illustrated in Fig. 2, 3.

The results of the experiment given in Fig. 2, 3, show the following:

– repeatability (convergence) of the control measurement results corresponds to the accuracy category of “precise measurements”, since the variation coefficient V , %, has proved to be less than 1% [23];

– intra-laboratory precisionness [24] of measurement results meets the requirement: $|X_{\max} - X_{\min}| = |948 - 932| = 16 \leq 20$ mV [10].

The results of measuring the protector's working potential, obtained with the help of the control electrode

made of stainless steel, have shown the following:

– repeatability (convergence) of the control measurement results, according to [23], corresponds to the accuracy category of “precise measurements”, since the variation coefficient V , %, has proved to be less than 1%;

– intra-laboratory precisionness [24] of measurement results complies with the condition: $|X_{\max} - X_{\min}| = |394 - 374| = 20 \leq 20$ mV [10].

Conclusion

1. The results of monitoring the protector's potential obtained with the help of an electrode made of stainless steel, comply with standard requirements.

2. The results of the research can be used in training operators for technical diagnostics of sea-going vessels and ships' protectors.

References

1. Shvetsov V. A., Belov O. A., Belozarov P. A., Shun'kin D. V. *Kontrol' sistem protektonoi zashchity stal'nykh sudov i korablei: monografiia* [Control of tread protection systems of steel vessels and ships: monograph]. Petropavlovsk-Kamchatskii, Izd-vo KamchatGTU, 2016. 109 p.
2. Iastrebov D. P., Belov O. A., Shvetsov V. A., Belavina O. A. O vybore elektrodov dlia kontroliia sistem protektonoi zashchity stal'nykh sudov i korablei [About the choice of electrodes for monitoring the tread protection systems of steel vessels and ships]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaia tekhnika i tekhnologiia*, 2019, no. 4, pp. 39-45.
3. 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: 28.07.2023).
4. 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.
5. Korobtsov I. M. *Tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont flota* [Fleet maintenance and re-pair]. Moscow, Transport Publ., 1975. 195 p.
6. RD 31.28.10-97. *Kompleksnye metody zashchity sudovykh konstruksii ot korrozii* [Complex methods of ship structures protection from corrosion]. Moscow, TsNIIMF Publ., 1997. 169 p.
7. GOST 9.056-75. *Stal'nye korpusa korablei i sudov. Obshchie trebovaniia k elektrokhi-micheskoi zashchite* [Steel hulls of ships and vessels. General requirements for electrochemical protection]. Moscow, Izd-vo standartov, 1986. 20 p.
8. GOST 26501-85. *Korpusa morskikh sudov. Obshchie trebovaniia k elektrokhimicheskoi zashchite* [Hulls of sea vessels. General requirements for electrochemical protection]. Moscow, Izd-vo standartov, 1985. 7 p.
9. Chandler K. A. *Marine and Offshore Corrosion*. London; Boston, Butterworths, 1985. 413 p. (Chandler K. A. Korroziia sudov i morskikh sooruzhenii / per. s angl. I. A. Barkhatova, V. I. Lemkova. L.: Sudostroenie, 1988. 320 s.).
10. RZK-NK-01. *Rukovodstvo po zashchite korpusov navodnykh korablei VMF ot korrozii i obrastaniia* [Guidelines for protecting the hulls of Naval surface ships from corrosion and fouling]. Moscow, Voennoe izd-vo, 2001. 258 p.
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 protektonoi zashchity stal'nogo korpusa sudna. *Tekhnicheskaiia ekspluatatsiia vodnogo transporta: problemy i puti razvitiia* [On the expediency of using silver chloride electrodes to control the systems of protective protection of the steel hull of the vessel. Technical operation of water transport: problems and ways of development]. *Materialy 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 protektonoi zashchity sudov i korablei [On the issue of using zinc electrodes to control the tread protection of ships and ships]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaia tekhnika i tekhnologiia*, 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 protektonoi zashchity korpusov sudov i korablei. *Tekhnicheskaiia ekspluatatsiia vodnogo transporta: problemy i puti razvitiia* [On the issue of using steel plates to control the tread protection of ship hulls and ships. Technical operation of water transport: problems and ways of development]. *Materialy 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 the issue of using electrodes made of ship-hull steel to control the corrosion protection of ship hulls and ships]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaia tekhnika i tekhnologiia*, 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 the issue of using aluminum electrodes to control corrosion protection of steel hulls of ships and ships]. *Vest-*

nik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaia tekhnika i tekhnologiya, 2021, no. 3, pp. 23-32.

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

17. Iastrebov D. P. K voprosu izgotovleniia tsinkovykh elektrodov sravneniia dlia morskikh sudov i korablei [On the issue of manufacturing zinc comparison electrodes for marine vessels and ships]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaia tekhnika i tekhnologiya*, 2022, no. 4, pp. 38-46.

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

19. Belov O. A., Shvetsov V. A., Iastrebov D. P., Belavina O. A., Shun'kin D. V. Vnedrenie usovershenstvovannogo sposoba kontrolya sistem protektoinoi zashchity stal'nykh korpusov sudov Kamchatskogo flota [Introduction of an improved method for monitoring the tread protection systems of steel hulls of the Kamchatka Fleet vessels]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2017, no. 39, pp. 6-11.

20. Shvetsov V. A., Belov O. A., Belavina O. A., Iastrebov D. P. Obosnovanie vozmozhnosti isklucheniia vneshnego osmotra sistem protektoinoi zashchity stal'nykh korpusov sudov [Justification of the possibility of excluding the external inspection of the tread protection systems of steel hulls

of ships]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaia tekhnika i tekhnologiya*, 2017, no. 1, pp. 29-38.

21. 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 the method of selecting control points for measuring the protective potential of steel hulls of ships and vessels]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, no. 28, pp. 6-11.

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

23. GOST R 8.736-2011. Gosudarstvennaia sistema obespecheniia edinstva izmerenii (GSI). Izmereniia priamye mnogokratnye. Metody obrabotki rezul'tatov izmerenii. Osnovnye polozheniia [The State system of ensuring the uniformity of measurements (GSI). Direct multiple measurements. Methods of processing measurement results. Basic provisions]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200089016> (accessed: 28.07.2023).

24. Smagunova A. N. Shmeleva E. I., Shvetsov V. A. *Algoritmy operativnogo i statisticheskogo kontrolya kachestva raboty analiticheskoi laboratorii: metodicheskoe rukovodstvo* [Algorithms of operational and statistical quality control of the analytical laboratory: methodological guide]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2008. 60 p.

Список источников

1. 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.

2. 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.

3. 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: 28.07.2023).

4. Зобочев Ю. Е., Солинская Э. В. Защита судов от коррозии и обрастания. М.: Транспорт, 1984. 174 с.

5. Коробцов И. М. Техническое обслуживание и ремонт флота. М.: Транспорт, 1975. 195 с.

6. РД 31.28.10-97. Комплексные методы защиты судовых конструкций от коррозии. М.: ЦНИИМФ, 1997. 169 с.

7. ГОСТ 9.056-75. Стальные корпуса кораблей и судов. Общие требования к электрохимической защите. М.: Изд-во стандартов, 1986. 20 с.

8. ГОСТ 26501-85. Корпуса морских судов. Общие требования к электрохимической защите. М.: Изд-во стандартов, 1985. 7 с.

9. Чендлер К. А. Коррозия судов и морских сооружений / пер. с англ. И. А. Бархатова, В. И. Лемкова.

Л.: Судостроение, 1988. 320 с.

10. РЗК-НК-01. Руководство по защите корпусов наводных кораблей ВМФ от коррозии и обрастания. М.: Воен. изд-во, 2001. 258 с.

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 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 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 элект-

тродов 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. Ястребов Д. П. К вопросу изготовления цинковых электродов сравнения для морских судов и кораблей // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2022. № 4. С. 38–46.

18. 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.

19. 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.

20. 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.

21. 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.

22. 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.

23. 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: 28.07.2023).

24. Смагунова А. Н. Шмелева Е. И., Швецов В. А. Алгоритмы оперативного и статистического контроля качества работы аналитической лаборатории: метод. рук-во. Новосибирск: Наука, 2008. 60 с.

The article was submitted 17.08.2023; approved after reviewing 21.09.2023; accepted for publication 12.10.2023
Статья поступила в редакцию 17.08.2023; одобрена после рецензирования 21.09.2023; принята к публикации 12.10.2023

Information about the authors / Информация об авторах

Dmitry V. Shunkin – Deputy General Director; “MC “Domovik”, LLC; Otryd41@yandex.ru

Дмитрий Владимирович Шунькин – заместитель генерального директора; ООО «УК «Домовик»; Otryd41@yandex.ru

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

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

Oleg A. Belov – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Power Plants and Electrical Equipment of Ships; Kamchatka State Technical University; boa-1@mail.ru

Олег Александрович Белов – кандидат технических наук, доцент; заведующий кафедрой энергетических установок и электрооборудования судов; Камчатский государственный технический университет; boa-1@mail.ru

Vladimir A. Shvetsov – Doctor of Chemical Sciences, Assistant Professor; Professor of the Department of Power Plants and Electrical Equipment of Ships; Kamchatka State Technical University; oni@kamchatgtu.ru

Владимир Алексеевич Швецов – доктор химических наук, доцент; профессор кафедры энергетических установок и электрооборудования судов; Камчатский государственный технический университет; oni@kamchatgtu.ru

Konstantin V. Erev – Head Master Directorate of Water Disposal; RSUE “Kamchatsky Vodokanal”; erevk@mail.ru

Константин Викторович Ерев – старший мастер дирекции водоотведения; КГУП «Камчатский водоканал»; erevk@mail.ru

