

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ ИЗ СУДОКОРПУСНОЙ СТАЛИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ ОТ КОРРОЗИИ КОРПУСОВ СУДОВ И КОРАБЛЕЙ

Д. П. Ястребов, О. А. Белов, В. А. Швецов, Б. В. Тарабанов, С. А. Зайцев

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, Российская Федерация*

Коррозия наносит значительный вред конструкциям и важным механизмам судна, сокращая срок службы стальных деталей машин. Представлен опыт использования разных электродов для контроля систем электрохимической защиты стальных корпусов вспомогательных судов. Приведены результаты коррозионных испытаний корпуса судна ПМ-15, которые включили измерения потенциала корпуса судна в заданной контрольной точке с помощью электроизмерительного прибора и двух контрольных электродов. В качестве первого электрода использовали электроугольное изделие для электрических машин. Пластину из судокорпусной стали использовали в качестве второго электрода. Исследуемое судно пребывало у причала в течение длительного времени. Коррозионные исследования выполняли с 10.10.2019 по 16.10.2019. Потенциал корпуса судна в контрольной точке контролировали с помощью 50 параллельных измерений. Параллельные измерения выполняли с заданным интервалом времени между ними – 5 с. Для выполнения коррозионных исследований был подготовлен квалифицированный оператор. Точность измерений определяли на основании действующих нормативных документов. Результаты коррозионных исследований позволяют утверждать, что надежность контроля электрохимических систем защиты корпуса судна в первую очередь зависит от типа используемого электрода. Проиллюстрировано, что на метрологические характеристики результатов контрольных измерений, полученных с помощью стальной пластины, влияет срок ее использования. Полученные результаты научных исследований позволяют экипажам судов правильно выбрать элементы системы контроля эффективности электрохимической защиты судов и кораблей.

Ключевые слова: коррозия корпуса судна, система электрохимической защиты от коррозии, контроль эффективности системы электрохимической защиты от коррозии, контрольные электроды, коррозионные испытания корпуса судна.

Для цитирования: 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 // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2020. № 2. С. 15–21. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-2-15-21.

Введение

Коррозия приводит к износу судов, снижает их прочность и безопасность мореплавания, поэтому защита судов от коррозии определена [1, 2] как важнейшая задача морского транспорта и рыбохозяйственного комплекса [3–6]. Для защиты от коррозии судов и кораблей необходимо специальное обучение операторов, обеспечивающих эффективную работу систем электрохимической защиты корпусов судов [2, 3, 7–13]. Для подготовки операторов требуется обмен опытом в области эксплуатации систем электрохимической защиты корпусов судов и кораблей [2, 3, 11–13].

Цель настоящей работы – обмен опытом, необходимым для организации надежного контроля систем электрохимической защиты стальных корпусов вспомогательных судов.

Экспериментальная часть

Контролировали потенциал корпуса судна ПМ-15 в заданной контрольной точке [10] по методике, изложенной в работе [14]. При этом использовали два контрольных электрода:

- электрод, выполненный в виде электроугольного изделия (щетка для электрогенераторов) [15];
- электрод, выполненный в виде контрольной пластины, изготовленной из судокорпусной стали [3].

Исследуемое судно (ПМ-15) в течение длительного времени находится у одного из причалов в г. Петропавловске-Камчатском. Коррозионные исследования были выполнены в период с 10.10.2019 по 16.10.2019. Исследования основаны на измерении разности потенциалов между корпусом судна и контрольным электродом. При испытании каждого электрода выполняли 50 параллельных измерений с интервалом времени между измерениями – 5 с. При оценивании результатов измерений использовали нормативный документ [16]. Для статистической обработки результатов исследований использовали программное обеспечение [17].

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты выполненных исследований приведены в таблице ($U_{\text{сред}}$ – среднее арифметическое, мВ; D – дисперсия; σ – среднее квадратичное отклонение; Kd – линейный коэффициент вариации, %; Kr – коэффициент осцилляции, %; V – коэффициент вариации, %).

**Результаты натуральных коррозионных испытаний на судне ПМ-15
в период с 10.10.2019 по 16.10.2019**

№	Результаты измерений разности потенциалов между корпусом судна и контрольными электродами U , мВ, полученные в день с помощью электродов									
	Электрод № 1 (выполненный из электроугольного изделия)					Электрод № 2 (выполненный из судокорпусной стали)				
	Дата	10.10.2019	11.10.2019	13.10.2019	15.10.2019	16.10.2019	10.10.2019	11.10.2019	13.10.2019	15.10.2019
1	700	644	688	664	689	225	238	327	319	301
2	700	644	688	664	690	224	238	324	318	300
3	700	644	688	665	690	221	237	324	318	300
4	700	645	688	666	690	219	236	324	317	299
5	699	646	689	666	690	218	235	323	316	298
6	698	647	688	666	691	217	234	322	316	296
7	699	649	688	667	690	221	233	322	315	295
8	698	650	688	667	692	214	232	322	314	293
9	698	652	687	668	692	213	222	321	313	292
10	699	653	687	667	691	212	231	320	314	291
11	697	654	685	668	692	212	231	320	314	290
12	698	655	686	669	692	211	230	320	313	289
13	697	656	684	670	693	210	229	319	313	288
14	698	657	684	670	693	209	228	319	312	287
15	697	658	683	671	693	208	226	318	311	286
16	697	659	682	671	693	208	225	317	311	285
17	696	660	681	672	692	207	224	316	310	283
18	696	660	681	672	692	206	223	316	309	282
19	696	661	681	672	693	206	222	315	308	281
20	695	661	680	673	694	206	222	315	308	280
21	695	661	680	673	694	205	221	314	307	279
22	695	661	680	674	694	203	220	314	307	279
23	694	661	682	674	692	202	219	313	306	278
24	694	662	680	673	693	202	218	312	306	277
25	694	662	679	675	694	203	218	311	305	276
26	694	662	678	675	694	201	217	310	304	275
27	693	663	678	676	694	201	216	310	303	274
28	692	663	677	676	694	200	216	310	303	274
29	693	663	677	675	694	201	216	310	302	273
30	694	663	677	676	693	201	216	310	302	273
31	691	662	676	675	694	200	215	310	302	272
32	692	663	676	677	694	201	214	309	303	271
33	693	664	675	677	693	200	212	309	301	270
34	692	664	674	676	694	200	212	309	300	269
35	693	664	676	678	694	200	21	308	299	269
36	693	663	675	678	695	199	211	306	298	268
37	692	664	675	679	695	199	210	306	297	267
38	691	665	677	678	695	198	210	305	296	266
39	692	665	677	678	694	199	209	304	295	266
40	692	665	677	678	695	200	209	304	294	265
41	691	665	677	679	695	199	208	303	294	264
42	691	665	676	679	694	200	207	302	293	263
43	691	666	676	680	695	199	206	301	293	263
44	692	666	675	679	695	200	206	301	292	262
45	692	666	675	680	695	200	205	300	291	262

№	Результаты измерений разности потенциалов между корпусом судна и контрольными электродами $U =$, мВ, полученные в день с помощью электродов									
	Электрод № 1 (выполненный из электроугольного изделия)					Электрод № 2 (выполненный из судокорпусной стали)				
	Дата	10.10.2019	11.10.2019	13.10.2019	15.10.2019	16.10.2019	10.10.2019	11.10.2019	13.10.2019	15.10.2019
46	690	667	674	679	696	200	205	300	290	261
47	690	667	673	680	695	200	204	299	290	261
48	689	667	673	679	695	200	204	300	289	260
49	689	668	673	680	696	199	203	300	287	260
50	691	668	672	681	695	198	202	298	286	259
$U_{\text{средн}}$ мВ	695	660	680	674	693	205	213	312	303	277
D	10	50	27	25	3	54	1040	69	100	160
σ	3,09	7,04	5,17	4,99	1,72	7,38	33,24	8,32	10,01	12,65
Kd , %	0,43	0,91	0,59	0,59	0,14	2,92	6,58	2,25	2,97	3,96
Kr , %	1,44	3,64	2,50	2,52	1,01	13,16	111,86	9,63	11,22	15,50
V , %	0,44	1,07	0,76	0,74	0,25	3,60	15,15*	2,67	3,30	4,56

* V не соответствует точным результатам измерения, степень рассеивания данных значительная.

В таблице приведены результаты натуральных коррозионных исследований и статистической обработки этих результатов. Рис. 1 и 2 иллюстрируют динамику изменений результатов контрольных измерений, полученных с помощью разных электродов сравнения.

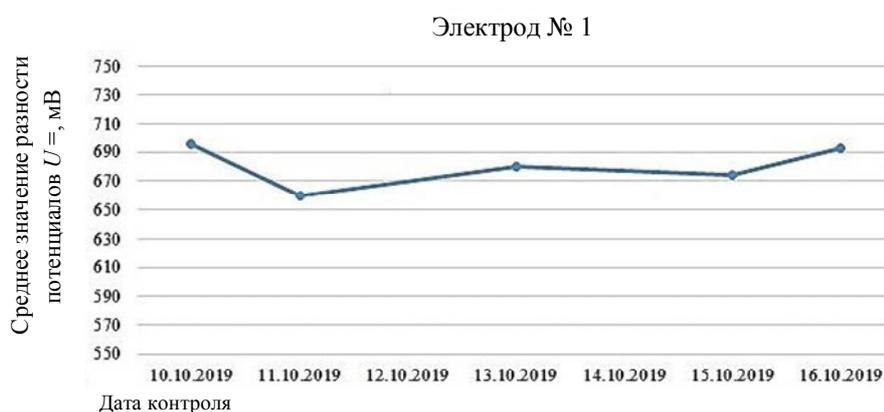


Рис. 1. Динамика результатов разности потенциалов в период с 10.10.2019 по 16.10.2019, полученных с помощью электрода № 1, изготовленного из электроугольного изделия для электрических машин



Рис. 2. Динамика результатов разности потенциалов в период с 10.10.2019 по 16.10.2019, полученных с помощью электрода № 2, изготовленного из судокорпусной стали

Согласно результатам выполненных исследований (табл., рис. 1 и 2) при использовании электрода № 1 результаты контроля протекторной защиты изменялись незначительно [6]: от 644 до 700 мВ. Следует отметить, что они соответствуют реальному износу протекторов (90 %). Результаты контроля потенциала корпуса судна ПМ-15, полученные с помощью стальной пластины, изменялись от 199 до 327 мВ. При этом значения коэффициента вариации V изменялись в интервале значений 2,67–15,15 %. Таким образом, использование пластины (выполненной из судокорпусной стали) может привести к неточным результатам контроля систем электрохимической защиты корпуса судна.

Выводы

1. Точность результатов измерений разности потенциалов между стальным корпусом судна и контрольным электродом главным образом зависит от вида электрода.
2. Результаты контроля, полученные с помощью контрольных пластин, изготовленных из судокорпусной стали, отличаются низкой точностью.
3. Результаты выполненных исследований могут быть применены при подготовке операторов систем электрохимической защиты стальных корпусов судов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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: <https://dikipedia.ru/document/5319913> (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., Коростылёв 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. *Пат. 153280* Рос. Федерация, U1 МПК G01N 17/02 (2006.01). Устройство для измерения защитного потенциала стальных корпусов кораблей и судов / Швецов В. А., Белозёров П. А., Шунькин Д. В., Диденко А. А., Луценко А. А., Коростылёв Д. В., Белавина О. А. № 2014142289/28; заявл. 20.10.2014; опубл. 10.07.2015, Бюл. № 19.
16. *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).

17. *IBM SPSS Statistics*: мощная программная платформа статистического анализа с надежным набором функций. IBM Corporation 2017. URL: <https://www.ibm.com/ru-ru/products/spss-statistics> (дата обращения: 01.03.2020).

Статья поступила в редакцию 19.03.2020

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Белов Олег Александрович – Россия, 683003, Петропавловск-Камчатский; Камчатский государственный технический университет; канд. техн. наук, доцент; зав. кафедрой энергетических установок и электрооборудования судов; boa-1@mail.ru.

Швецов Владимир Алексеевич – Россия, 683003, Петропавловск-Камчатский; Камчатский государственный технический университет; д-р хим. наук, доцент; профессор кафедры энергетических установок и электрооборудования судов; oni@kamchatgtu.ru.

Тарабанов Богдан Владимирович – Россия, 683003, Петропавловск-Камчатский; Камчатский государственный технический университет; аспирант кафедры энергетических установок и электрооборудования судов; oni@kamchatgtu.ru.

Зайцев Сергей Анатольевич – Россия, 683003, Петропавловск-Камчатский; Камчатский государственный технический университет; аспирант кафедры энергетических установок и электрооборудования судов; zytsev@mail.ru.



PROBLEM OF USING ELECTRODES MADE OF SHIPBUILDING STEEL TO PROTECT SHIP HULL FROM CORROSION

D. P. Yastrebov, O. A. Belov, V. A. Shvetsov, B. V. Tarabanov, S. A. Zaytsev

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russian Federation*

Abstract. The article discusses the problem of corrosion that causes significant damage to the ship structures and mechanisms, reducing their service life. The experience of using different electrodes to control the electrochemical protection systems of steel hulls of auxiliary vessels is presented. The results of corrosion tests of PM-15 ship hull are presented, which included measurements of the hull potential at a given control point, using an electrical measuring device and two control electrodes. As the first electrode used an electric carbon product for electric machines. A ship hull steel plate was used as the second electrode. The investigated vessel stayed at the pier for a long time. Corrosion tests were carried out in the period within 10.10.2019-16.10.2019. The ship hull potential at the control point was controlled using 50 parallel measurements. Parallel measurements were performed with a specified time interval of 5 sec. between them. A qualified operator has been trained to perform corrosion studies. The accuracy of the measurements was determined on the basis of current regulatory documents. The test results show that the reliability of the control of electrochemical protection systems of the hull primarily depends on the type of electrode used. It has been demonstrated that the metrological characteristics of the results of control measurements depend on the period of using a steel plate. The results of scientific research help to select the right elements of the system of monitoring the effectiveness of electrochemical protection of the ships and ship crews.

Key words: ship hull corrosion, electrochemical corrosion protection system, monitoring the effectiveness of the electrochemical anticorrosion system, control electrodes, corrosion resistance tests of the ship hull.

For citation: Yastrebov D. P., Belov O. A., Shvetsov V. A., Tarabanov B. V., Zaytsev S. A. Problem of using electrodes made of shipbuilding steel to protect ship hull from corrosion. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2020;2:15-21. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2020-2-15-21.

REFERENCES

1. Zobochev Yu. E., Solinskaya E. V. *Zashchita sudov ot korrozii i obrastaniya* [Protecting ships from corrosion and fouling]. Moscow, Transport Publ., 1984. 174 p.
2. Shvecov V. A., Belov O. A., Belozorov P. A., Shun'kin D. V. *Kontrol' sistem protekturnoj zashchity stal'nyh sudov i korablej: monografiya* [Control of sacrificial protection systems for steel ships: monograph]. Petropavlovsk-Kamchatskij, Izd-vo KamchatGTU, 2016. 109 p.
3. Korobcov 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 sudovyh konstrukcij ot korrozii* [RD 31.28.10-97. Integrated corrosion protection methods for ship structures]. Available at: <https://dikipedia.ru/document/5319913> (accessed: 05.10.2019).
5. GOST 9.056-75. *Stal'nye korpusa korablej i sudov. Obshchie trebovaniya k elektrohimicheskoj zashchite pri dolgovremennom stoyanochnom rezhime* [GOST 9.056-75. Steel hulls of ships. General requirements for electrochemical protection in long-term harbor mode]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200015017> (accessed: 05.10.2019).
6. GOST 26501-85. *Korpusa morskikh sudov. Obshchie trebovaniya k elektrohimicheskoj zashchite* [GOST 26501-85. Ship hulls. General requirements for electrochemical protection]. Moscow, Izd-vo standartov, 1985. 7 p.
7. Belov O. A., Shvecov V. A., Yastrebov D. P. Obosnovanie optimal'noj periodichnosti kontrolya raboty protekturnoj zashchity stal'nyh korpusov sudov [Argumentation of optimal frequency of monitoring sacrificial protection of steel hulls]. *Ekspluatatsiya morskogo transporta*, 2017, no. 1 (82), pp. 41-48.
8. Belov O. A., Shvecov V. A., Yastrebov D. P., Belavina O. A., Shun'kin D. V. Vnedrenie usovershenstvovannogo sposoba kontrolya sistem protekturnoj zashchity stal'nyh korpusov sudov Kamchatskogo flota [Integrating improved method of monitoring sacrificial protection systems of ship steel hulls in Kamchatka]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2017, iss. 39, pp. 6-11.
9. Shvecov V. A., Belov O. A., Belavina O. A., Yastrebov D. P. Obosnovanie vozmozhnosti isklyucheniya vneshnego osmotra sistem protekturnoj zashchity stal'nyh korpusov sudov [Substantiation for excluding external inspection of sacrificial protection systems of steel hulls]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2017, no. 1, pp. 29-38.
10. Belozorov P. A., Shvecov V. A., Belavina O. A., Shun'kin D. V., Korostylyov D. V., Pahomov V. A., Malinovskij S. A. Obosnovanie sposoba vybora kontrol'nyh tochek dlya izmereniya zashchitnogo potenciala stal'nyh korpusov korablej i sudov [Justification of method of choosing control points for measuring protective potential of ship steel hulls]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, iss. 28, pp. 6-11.
11. Shvecov V. A., Belozorov P. A., Adel'shina N. V., Belavina O. A., Petrenko O. E., Shun'kin D. V., Kirnosenko V. V. Vliyanie kvalifikatsii operatora na rezul'taty izmereniya zashchitnogo potenciala stal'nyh korpusov korablej i sudov [Influence of operator qualification on results of measuring protective potential of ship steel hulls]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, iss. 30, pp. 46-54.
12. Shvecov V. A., Belozorov P. A., Belavina O. A., Shun'kin D. V., Malinovskij S. A. Obosnovanie vybora neobhodimogo chisla parallel'nyh izmerenij zashchitnogo potenciala stal'nyh korpusov korablej i sudov v kontrol'noj tochke [Justification of choosing right number of parallel measurements of protective potential of ship steel hulls at control point]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2016, iss. 35, pp. 40-46.
13. Shvecov V. A., Belov O. A., Belozorov P. A., Belavina O. A., Kirnosenko V. V. Obosnovanie neobhodimosti podgotovki operatorov dlya izmereniya potenciala stal'nyh korpusov sudov i korablej [Justification of necessary training for operators to measure potential of ship steel hulls]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2016, iss. 37, pp. 19-24.
14. Yastrebov D. P., Belov O. A., Shvecov V. A., Belavina O. A. O vybore elektrodov dlya kontrolya sistem protekturnoj zashchity stal'nyh sudov i korablej [Choosing electrodes for monitoring sacrificial protection systems of steel ships]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2019, no. 4, pp. 39-45.
15. Shvecov V. A., Belozorov P. A., Shun'kin D. V., Didenko A. A., Lucenko A. A., Korostylyov D. V., Belavina O. A. *Ustrojstvo dlya izmereniya zashchitnogo potenciala stal'nyh korpusov korablej i sudov* [Device for measuring protective potential of ship steel hulls]. Patent RF № 2014142289/28; 10.07.2015.

16. *GOST R 8.736-2011. Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmerenij (GSI). Izmereniya pryamye mnogokratnye. Metody obrabotki rezul'tatov izmerenij. Osnovnye polozheniya* [GOST R 8.736-2011. State system for ensuring uniformity of measurements. Direct multiple measurements. Methods of processing measurement results. Key points]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200089016> (accessed: 05.10.2019).

17. *IBM SPSS Statistics: moshchnaya programmaya platforma statisticheskogo analiza s nadezhnym nab-
orom funkcij. IBM Corporation 2017* [IBM SPSS Statistics: powerful software package of statistical analysis with set of reliable functions. IBM Corporation 2017]. Available at: <https://www.ibm.com/ru-ru/products/spss-statistics> (accessed: 01.03.2020).

The article submitted to the editors 19.03.2020

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

Belov Oleg Aleksandrovich – Russia, 683003, Petropavlovsk-Kamchatsky; Kamchatka State Technical University; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Ship Power Plants and Electrical Equipment; boa-1@mail.ru.

Shvetsov Vladimir Alekseevich – Russia, 683003, Petropavlovsk-Kamchatsky; Kamchatka State Technical University; Doctor of Chemical Sciences, Assistant Professor; Professor of the Department of Ship Power Plants and Electrical Equipment; oni@kamchatgtu.ru.

Tarabanov Bogdan Vladimirovich – Russia, 683003, Petropavlovsk-Kamchatsky; Kamchatka State Technical University; Postgraduate Student of the Department of Ship Power Plants and Electrical Equipment; oni@kamchatgtu.ru.

Zaitsev Sergey Anatolyevich – Russia, 683003, Petropavlovsk-Kamchatsky; Kamchatka State Technical University; Postgraduate Student of the Department of Ship Power Plants and Electrical Equipment; zyitsev@mail.ru.

