

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ ОТ КОРРОЗИИ СТАЛЬНЫХ КОРПУСОВ СУДОВ И КОРАБЛЕЙ

*Д. П. Ястребов, О. А. Белов, В. А. Швецов, А. П. Ушакевич,
Г. В. Кузнецов, Б. В. Тарабанов*

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

Представлены результаты испытаний на морском судне нестандартного электрода сравнения, выполненного из очищенной от изоляции жилы алюминиевого электромонтажного провода. Для проведения исследований использовано вспомогательное морское судно ПМ-15. Измерения потенциала корпуса судна производили в одной и той же контрольной точке с помощью трех электродов сравнения: хлорсеребряного электрода № 1; алюминиевого электрода № 2; алюминиевого электрода № 3. Потенциал корпуса судна измеряли в течение пяти дней, ежедневно использовали все три электрода сравнения. С помощью каждого электрода выполняли по пятьдесят параллельных измерений потенциала корпуса судна с интервалом времени между измерениями в 5 с. Для оценивания точности результатов измерений выполняли их статистическую обработку. Перечислены факторы, которые необходимо учитывать при разработке технологий изготовления нестандартных электродов сравнения: использование доступных недорогих материалов; отказ от использования дорогостоящего оборудования, применяемого при изготовлении электрода сравнения; исключение сложных способов хранения электродов сравнения на морских судах. Приведена схема измерительных электрических цепей, включающая стальной корпус судна, фельшборг, мультиметр, прижимное устройство, выключатели, хлорсеребряный электрод сравнения, алюминиевые электромонтажные провода и др. Результаты исследования могут быть использованы на морских судах для организации контроля протекторной защиты корпусов судов и кораблей при отсутствии стандартных электродов сравнения.

Ключевые слова: корпус морского судна, протекторная защита корпуса судна, стандартный электрод сравнения, нестандартный электрод сравнения, испытания электродов сравнения.

Для цитирования: 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 // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2021. № 3. С. 23–32. DOI: 10.24143/2073-1574-2021-3-23-32.

Введение

Одно из назначений технического обслуживания флота – контроль работы систем защиты судов от коррозии [1–6]. Для осуществления данного вида контроля экипажи судов должны быть обеспечены стандартными хлорсеребряными электродами сравнения (ХСЭ) [5, 6]. Однако ни на одном морском судне Камчатского флота не обнаружено данных электродов, что обусловлено сложностью хранения ХСЭ на судне и их высокой стоимостью [7, 8]. Согласно нормативному документу [9] для контроля параметров защиты от коррозии подводных металлических конструкций допускается использование электродов собственного изготовления, а именно:

- хлорсеребряного пористого электрода сравнения;
- насыщенного медносульфатного электрода сравнения.

Технология изготовления ХСЭ сложна и не может быть использована на рыбопромысловых судах. Технология изготовления насыщенного медносульфатного электрода сравнения достаточно проста. Однако эксплуатация и хранение данного электрода сравнения вызывает затруднение у экипажей рыбопромысловых судов. Поэтому разработка новых удобных для эксплуатации на морских судах электродов сравнения является актуальной задачей в современных условиях [10–12]. Для решения этой задачи необходимо:

- подобрать материал для изготовления нового электрода сравнения;

– оценить метрологические характеристики нового электрода относительно ХСЭ.

Автор работы [13] исследовал метрологические характеристики электродов сравнения, выполненных на основе висмута. В результате исследований сделан вывод, что «висмутовый электрод не способен поддерживать постоянное значение потенциала» [13, с. 94]. Следует также отметить сложность технологии изготовления висмутовых электродов сравнения.

Проведены исследования, направленные на разработку технологий изготовления нестандартных электродов сравнения для морских судов [10–12]. В процессе разработки данных технологий мы преследуем определенные цели:

- использование доступных недорогих материалов;
- отказ от использования дорогостоящего оборудования, применяемого при изготовлении электрода сравнения;
- исключение сложных способов хранения электродов сравнения на морских судах.

Например, известен [14] цинковый электрод сравнения, изготовленный из химически чистого цинка, эксплуатация и хранение которого на морских судах не вызывает затруднения у членов экипажей. Однако в свободной продаже по доступной цене такого рода электроды отсутствуют, поэтому мы вынуждены приобретать их в Китайской Народной Республике. Таким образом, существует необходимость решения данной проблемы. В ряду металлов рядом с цинком расположен алюминий. Можно предположить, что для изготовления морского электрода сравнения допустимо использовать широко распространенные и недорогие алюминиевые проводниковые материалы (провод, кабель). Однако испытания алюминиевых электродов сравнения на морских судах не выполняли.

Цель настоящей статьи – оценить возможность использования алюминиевых электродов для контроля защищенности от коррозии стальных корпусов морских судов и кораблей.

Методика испытаний алюминиевых электродов сравнения

На морском вспомогательном судне ПМ-15 в одной и той же контрольной точке его корпуса [15] контролировали потенциал корпуса [16–18]. При этом использовали три электрода сравнения, а именно:

- стандартный ХСЭ – № 1;
- два электрода сравнения – № 2 и № 3, выполненные из очищенной от изоляции жилы алюминиевого электропроводного провода.

Разность потенциалов между корпусом судна и электродами сравнения измеряли с помощью мультиметра UNI-T UT61E, оснащенного сменным источником питания типа 6LR61; 6F22; 6KR61.

Схема измерительных электрических цепей приведена на рис. 1

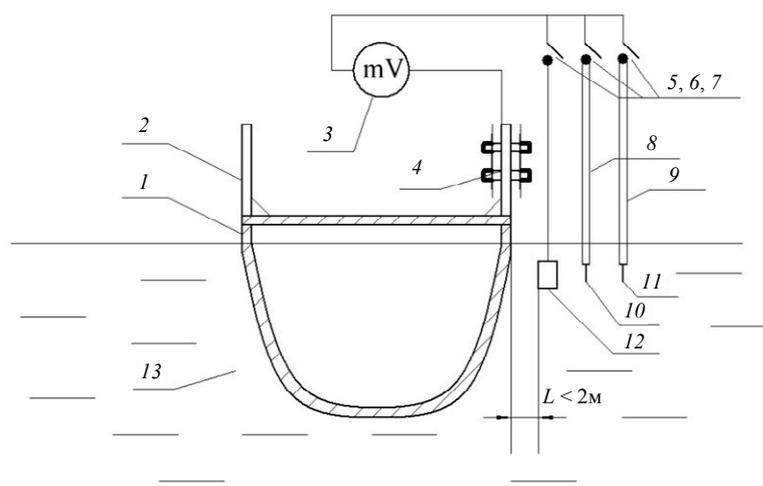


Рис. 1. Схема измерительных цепей: 1 – стальной корпус судна; 2 – фальшборт; 3 – мультиметр; 4 – прижимное устройство; 5–7 – коммутирующие устройства (выключатели); 8, 9 – алюминиевые электропроводные провода; 10, 11 – очищенные от изоляции жилы проводов; 12 – ХСЭ; 13 – морская вода

При выполнении контрольных измерений использовали рекомендации [15–21]. Для обеспечения достоверности результатов испытаний электродов сравнения выполнили 50 параллельных измерений с помощью каждого электрода. Интервал времени между отдельными измерениями – 5 с. Статистическую обработку результатов испытаний электродов сравнения выполнили с помощью программного обеспечения [22].

Результаты эксперимента и их обсуждение

Результаты испытаний электродов сравнения и их статистической обработки 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 испытаний электродов сравнения

№ п/п	Результаты измерений разности потенциалов между корпусом судна и контрольными электродами, U , мВ, полученные с помощью электродов														
	Электрод № 1 (ХСЭ)					Электрод № 2, выполненный из очищенной от изоляции алюминиевой жилы электропроводного провода					Электрод № 3, выполненный из очищенной от изоляции алюминиевой жилы электропроводного провода				
Дата	03.09.2020	06.09.2020	09.09.2020	12.09.2020	16.09.2020	03.09.2020	06.09.2020	09.09.2020	12.09.2020	16.09.2020	03.09.2020	06.09.2020	09.09.2020	12.09.2020	16.09.2020
1	652	674	660	667	669	-128	-76	-114	-91	-140	-137	-129	-107	-72	-86
2	652	674	660	667	669	-131	-72	-115	-87	-150	-142	-130	-105	-71	-75
3	652	674	660	667	669	-130	-78	-111	-90	-146	-139	-122	-106	-69	-74
4	652	674	660	667	669	-133	-76	-113	-93	-151	-141	-130	-105	-68	-72
5	652	674	660	667	668	-132	-77	-114	-90	-142	-140	-131	-107	-69	-68
6	652	674	660	667	668	-136	-80	-112	-94	-139	-142	-130	-105	-70	-71
7	653	674	660	667	668	-135	-81	-109	-95	-144	-139	-123	-106	-71	-74
8	653	674	659	668	669	-138	-78	-105	-90	-137	-137	-131	-108	-72	-72
9	652	674	659	667	669	-142	-79	-112	-93	-132	-141	-124	-106	-72	-68
10	653	674	659	667	669	-147	-82	-106	-96	-138	-140	-132	-105	-73	-69
11	653	674	659	668	669	-138	-88	-106	-97	-138	-143	-133	-106	-74	-59
12	653	674	659	667	669	-136	-91	-109	-95	-140	-141	-126	-105	-75	-62
13	653	674	659	668	669	-139	-94	-107	-97	-143	-139	-129	-103	-71	-61
14	653	675	659	668	668	-136	-92	-113	-102	-152	-141	-132	-106	-70	-60
15	654	675	660	668	668	-137	-89	-109	-93	-141	-136	-128	-104	-69	-62
16	654	675	660	668	668	-138	-90	-105	-94	-134	-135	-129	-106	-68	-61
17	653	675	660	668	668	-131	-84	-111	-93	-122	-134	-126	-104	-72	-69
18	653	674	660	668	668	-137	-81	-105	-93	-128	-134	-132	-103	-73	-71
19	653	674	661	668	669	-139	-79	-109	-92	-132	-135	-130	-104	-68	-66
20	653	674	661	668	669	-131	-80	-102	-90	-118	-134	-131	-103	-69	-65
21	654	674	661	669	669	-130	-86	-103	-93	-127	-135	-131	-104	-70	-65
22	654	674	660	668	668	-127	-94	-98	-90	-138	-133	-127	-105	-75	-64
23	654	674	660	669	668	-128	-84	-106	-92	-138	-134	-126	-106	-66	-63
24	654	674	660	668	668	-126	-81	-106	-91	-124	-132	-125	-103	-66	-66
25	654	674	660	669	668	-130	-85	-110	-90	-125	-133	-122	-100	-65	-64
26	654	674	660	668	668	-129	-90	-108	-91	-133	-132	-128	-102	-66	-63
27	654	675	660	668	668	-125	-84	-109	-91	-121	-133	-137	-104	-64	-65
28	654	675	661	669	668	-127	-80	-115	-92	-126	-129	-125	-105	-63	-66
29	654	675	661	669	668	-127	-81	-113	-91	-128	-128	-125	-106	-64	-68
30	655	675	661	668	668	-127	-82	-115	-90	-130	-130	-124	-108	-66	-66
31	655	675	661	668	668	-125	-85	-108	-99	-135	-128	-123	-109	-65	-70
32	655	675	661	668	669	-129	-86	-114	-97	-122	-126	-127	-105	-64	-64
33	654	675	661	668	669	-116	-84	-107	-98	-116	-130	-129	-105	-63	-63
34	654	675	661	669	669	-119	-88	-113	-100	-124	-133	-131	-104	-66	-71
35	655	675	660	668	669	-123	-90	-110	-101	-108	-130	-125	-102	-65	-68

Окончание табл.

№ п/п	Результаты измерений разности потенциалов между корпусом судна и контрольными электродами, $U=$, мВ, полученные с помощью электродов														
	Электрод № 1 (ХСЭ)					Электрод № 2, выполненный из очищенной от изоляции алюминиевой жилы электромотажного провода					Электрод № 3, выполненный из очищенной от изоляции алюминиевой жилы электромотажного провода				
Дата	03.09.2020	06.09.2020	09.09.2020	12.09.2020	16.09.2020	03.09.2020	06.09.2020	09.09.2020	12.09.2020	16.09.2020	03.09.2020	06.09.2020	09.09.2020	12.09.2020	16.09.2020
36	655	675	660	668	669	-118	-91	-110	-98	-109	-131	-124	-100	-68	-75
37	655	675	660	668	669	-115	-92	-104	-99	-119	-128	-131	-101	-65	-73
38	654	675	660	668	669	-117	-94	-107	-95	-111	-127	-129	-99	-66	-68
39	655	675	659	668	669	-121	-89	-110	-96	-118	-132	-126	-100	-67	-62
40	655	676	659	668	670	-118	-93	-107	-95	-124	-131	-129	-98	-64	-59
41	655	676	660	669	670	-117	-85	-108	-96	-112	-130	-132	-99	-68	-68
42	655	676	660	668	670	-118	-95	-111	-92	-116	-128	-140	-102	-69	-79
43	655	676	660	669	669	-117	-101	-105	-93	-112	-122	-127	-94	-63	-95
44	655	676	660	668	669	-118	-79	-114	-94	-119	-121	-128	-95	-62	-82
45	654	676	660	668	669	-121	-105	-108	-95	-106	-124	-132	-99	-59	-101
46	655	676	660	668	669	-119	-83	-106	-90	-115	-126	-126	-102	-59	-106
47	655	676	660	668	669	-121	-95	-105	-94	-112	-127	-127	-101	-63	-90
48	655	676	660	668	669	-117	-88	-106	-96	-114	-128	-133	-100	-61	-92
49	655	676	660	668	669	-121	-77	-99	-94	-106	-129	-125	-98	-59	-80
50	655	676	660	668	669	-123	-96	-102	-93	-108	-128	-126	-92	-60	-76
U_{cp} , мВ	653,84	674,78	660,02	667,96	668,70	-127,66	-85,80	-108,48	-93,82	-127,26	-132,96	-128,36	-103,04	-67,14	-71,14
D	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	32,00	33,00	17,00	15,00	46,00	22,00	18,00	17,00	16,00	47,00
σ	0,88	0,69	0,39	0,38	0,50	6,74	5,74	3,32	2,61	10,99	4,56	2,96	2,84	3,50	7,70
Kd , %	1,09	0,61	0,38	0,36	0,33	64,18	47,76	16,53	10,47	163,03	30,52	13,35	12,88	17,44	110,72
Kr , %	1,06	0,79	0,62	0,60	0,58	8,09	6,98	4,11	3,27	12,90	5,58	3,69	3,63	4,22	10,63
V , %	0,14	0,10	0,06	0,06	0,08	5,28	6,69	3,06	2,78	8,64	3,43	2,31	2,75	5,21	10,83

Динамика изменений результатов контрольных измерений, выполненных в разные дни, проиллюстрирована на рис. 2–4.



Рис. 2. Динамика результатов контрольных измерений разности потенциалов в контрольной точке судна ПМ-15 в период с 03.09.2020 по 16.09.2020, полученных с помощью электрода № 1

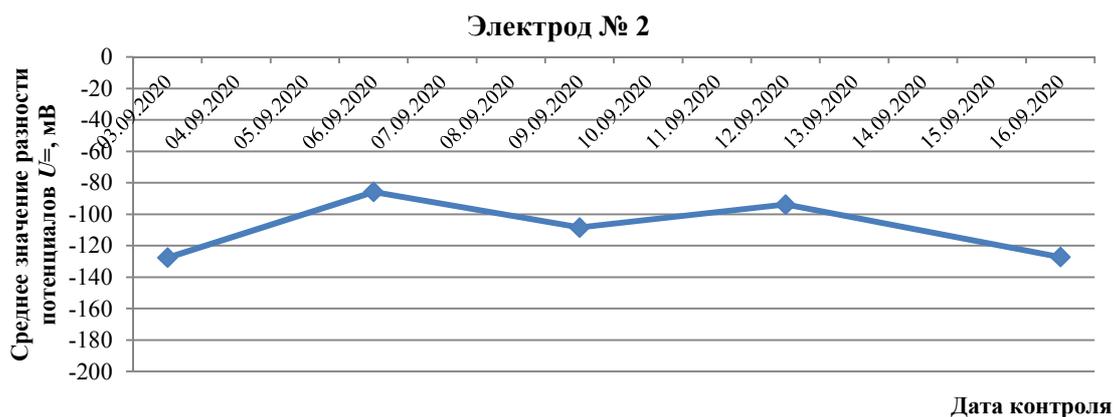


Рис. 3. Динамика результатов контрольных измерений разности потенциалов в контрольной точке судна ПМ-15 в период с 03.09.2020 по 16.09.2020, полученных с помощью электрода № 2

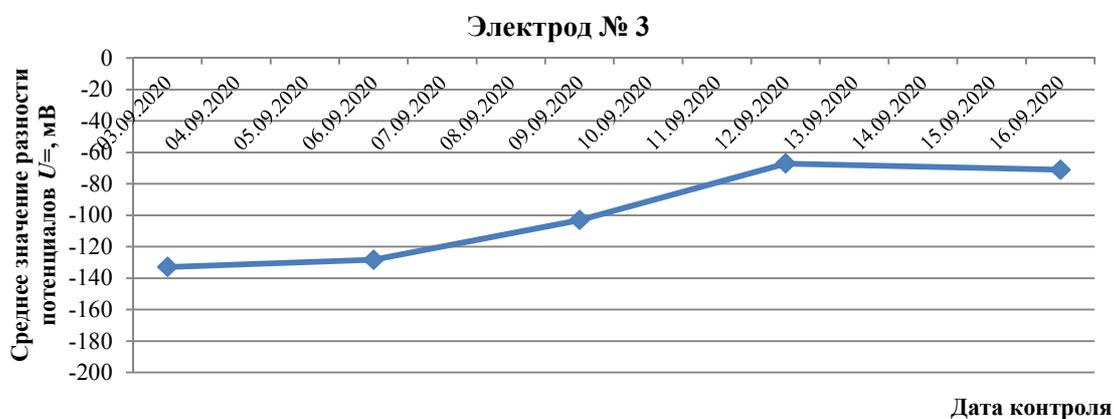


Рис. 4. Динамика результатов контрольных измерений разности потенциалов в контрольной точке судна ПМ-15 в период с 03.09.2020 по 16.09.2020, полученных с помощью электрода № 3

Согласно результатам эксперимента, приведенным в таблице и на рис. 2–4, можно сделать следующие выводы:

- протекторная защита корпуса судна ПМ-15 находится в неработоспособном состоянии [5, 6];
- результаты контроля протекторной защиты, полученные с помощью ХСЭ, отличаются высокой точностью, т. к. $V < 1\%$ [23];
- использование алюминиевых электродов сравнения, выполненных из электромонтажного провода, не обеспечивает высокой точности результатов контрольных измерений, т. к. $V \leq 10,83\%$ [23];
- результаты контроля потенциала корпуса судна, полученные с помощью ХСЭ, более стабильны во времени, т. к. $|U_{\max} - U_{\min}|_{\text{ХСЭ}} < |U_{\max} - U_{\min}|_{\text{Ал}}$.

Результаты эксперимента подтверждают, что алюминиевый электромонтажный провод, присоединенный к мультиметру (милливольтметру), можно использовать в качестве индикатора защитного потенциала корпуса судна. При появлении на табло электроизмерительного прибора знака « – » протекторную защиту корпуса судна следует считать неработоспособной.

Выводы

1. Результаты измерений потенциала стального корпуса морского судна, полученные с помощью алюминиевого электрода, нельзя отнести к категории точных измерений.

2. При отсутствии на судах хлорсеребряных электродов сравнения алюминиевые электроды можно использовать для предварительной оценки работоспособности протекторной защиты корпуса судна.

3. Если протекторная защита корпуса судна находится в неработоспособном состоянии, то результаты измерений потенциала корпуса судна, полученные с помощью алюминиевых электродов, во всех контрольных точках корпуса будут иметь отрицательные значения.

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: 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. М.: Транспорт, 1997. 169 с.
5. ГОСТ 9.056-75. Стальные корпуса кораблей и судов. Общие требования к электрохимической защите при долговременном стояночном режиме. М.: Изд-во стандартов, 1976. 17 с.
6. ГОСТ 26501-85. Корпуса морских судов. Общие требования к электрохимической защите. М.: Изд-во стандартов, 1985. 7 с.
7. 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.
8. 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 Второй междунар. науч.-практ. конф. (Петропавловск-Камчатский, 23–25 октября 2019 г.). Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатГТУ, 2020. С. 121–124.
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., 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 Второй междунар. науч.-практ. конф. (Петропавловск-Камчатский, 23–25 октября 2019 г.). Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатГТУ, 2020. С. 125–129.
11. 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.
12. Пат. 153280 Рос. Федерация, U1 МПК G01N 17/02 (2006.01). Устройство для измерения защитного потенциала стальных корпусов кораблей и судов / Швецов В. А., Белозеров П. А., Шунькин Д. В., Диденко А. А., Луценко А. А., Коростылев Д. В., Белавина О. А. № 2014142289/28; заявл. 20.10.2014; опубл. 10.07.2015, Бюл. № 19.
13. Прокунин С. В. Методы измерения водородного показателя в сильнокислотной области // Альм. соврем. метрологии. 2021. № 1 (25). С. 89–95.
14. Чендлер К. А. Коррозия судов и морских сооружений / пер. с англ. И. А. Бархатова, В. И. Лемкова. Л.: Судостроение, 1988. 320 с.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
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. 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.

21. 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.

22. 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: 15.11.2020).

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: 15.11.2020).

Статья поступила в редакцию 13.04.2021

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

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

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

Глеб Валерьевич Кузнецов – аспирант кафедры энергетических установок и электрооборудования судов; Камчатский государственный технический университет; Россия, 683003, Петропавловск-Камчатский; restart1101@mail.ru.

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



TO PROBLEM OF USING ALUMINUM ELECTRODES TO MAINTAIN CORROSION PROTECTION OF STEEL HULLS OF SHIPS AND VESSELS

**D. P. Yastrebov, O. A. Belov, V. A. Shvetsov, A. P. Ushakevich,
G. V. Kuznetsov, B. V. Tarabanov**

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

Abstract. The article highlights the test results of a non-standard reference electrode made of a stripped of insulation strand of aluminum wiring, which were conducted on board an auxiliary marine vessel PM-15. The potential of the ship's hull was measured at the same control point using three reference electrodes: silver chloride electrode No. 1; aluminum electrode No. 2; aluminum

electrode No. 3. The vessel's hull potential was measured over five days. All three reference electrodes were used daily. With the help of each electrode, fifty parallel measurements of the potential of the ship's hull were carried out with a time interval between measurements of 5 seconds. To assess the accuracy of the measurement results, they were processed statistically. The factors that must be taken into account in the development of technologies for manufacturing non-standard reference electrodes are listed: using available inexpensive materials; avoiding expensive equipment in manufacturing the reference electrode; eliminating complex methods of storage of reference electrodes on ships. There has been given a diagram of measuring electrical circuits including the steel hull, a bulwark, a multimeter, a clamping device, switches, a silver chloride reference electrode, aluminum wires, etc. The results of the study can be used on sea-going vessels to organize the control of the protective effect of the hulls of ships and vessels in the absence of standard reference electrodes.

Key words: sea vessel hull, ship hull protection, standard reference electrode, non-standard reference electrode, reference electrode tests.

For citation: Yastrebov D. P., Belov O. A., Shvetsov V. A., Ushakevich A. P., Kuznetsov G. V., Tarabanov B. V. To problem of using aluminum electrodes to maintain corrosion protection of steel hulls of ships and vessels. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2021;3:23-32. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2021-3-23-32.

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., Belozherov P. A., Shun'kin D. V. *Kontrol' sistem protekturnoi zashchity stal'nykh sudov i korablei: monografiia* [Control of protection systems of steel ships and vessels: monograph]. Petropavlovsk-Kamchatskii, Izd-vo KamchatGTU, 2016. 109 p.
3. Korobtsov I. M. *Tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont flota* [Maintenance and repair of fleet]. Moscow, Transport Publ., 1975. 195 p.
4. RD 31.28.10-97. *Kompleksnye metody zashchity sudovykh konstruksii ot korrozii* [RD 31.28.10-97. Complex methods of protecting ship structures from corrosion]. Moscow, Transport Publ., 1997. 169 p.
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]. Moscow, Izd-vo standartov, 1976. 17 p.
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. Iastrebov D. P., Belov O. A., Shvetsov V. A., Belavina O. A. O vybore elektrodov dlia kontroliia sistem protekturnoi zashchity stal'nykh sudov i korablei [Choosing electrodes for monitoring protection systems of steel ships and ships]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Serii: Morskaia tekhnika i tekhnologiia*, 2019, no. 4, pp. 39-45.
8. 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 expediency of using silver chloride electrodes to control 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.
9. VSN 39-84. *Katodnaia zashchita ot korrozii oborudovaniia i metallicheskiikh konstruksii gidrotekhnicheskikh sooruzhenii* [VSN 39-84. Cathodic corrosion protection 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., 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 protection of hulls of ships and vessels. 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.
11. 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. Serii: Morskaia tekhnika i tekhnologiia*, 2020, no. 2, pp. 15-21.

12. Shvetsov V. A., Belozеров P. A., Shun'kin D. V., Didenko A. A., Lutsenko A. A., Korostylev D. V., Belavina O. A. *Ustroistvo dlia izmereniia zashchitnogo potentsiala stal'nykh korpusov korablei i sudov* [Device for measuring protective potential of steel structures of ships and vessels]. Patent RF № 2014142289/28; 10.07.2015.

13. Prokunin S. V. *Metody izmereniia vodorodnogo pokazatelya v sil'nokislotoi oblasti* [Methods for measuring the hydrogen index in the strongly acidic region]. *Al'manakh sovremennoi metrologii*, 2021, no. 1 (25), pp. 89-95.

14. Chandler K. A. *Marine and Offshore Corrosion*. London, Butterworth-Heinemann, 428 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.).

15. 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* [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.

16. 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 to control protection of ship steel hulls]. *Ekspluatatsiia morskogo transporta*, 2017, no. 1 (82), pp. 41-48.

17. 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* [Using improved method for monitoring protection systems of ship steel hulls of Kamchatka fleet]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2017, iss. 39, pp. 6-11.

18. 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 tochke* [Substantiation of choice of required 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.

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 protection systems of ship steel hulls]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaia tekhnika i tekhnologiya*, 2017, no. 1, pp. 29-38.

20. 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 qualifications on results of measuring protective potential of steel hulls of ships and vessels]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, iss. 30, pp. 46-54.

21. 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* [Justification 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.

22. *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: 15.11.2020).

23. *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 uniformity of measurements. Multiple direct measurements. Methods for processing measurement results. Basic Provisions]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200089016> (accessed: 15.11.2020).

The article submitted to the editors 13.04.2021

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

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

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

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

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

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

