

*В. А. Швецов, О. А. Белов, О. А. Белавина, Д. П. Ястребов*

## **ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСКЛЮЧЕНИЯ ВНЕШНЕГО ОСМОТРА СИСТЕМ ПРОТЕКТОРНОЙ ЗАЩИТЫ СТАЛЬНЫХ КОРПУСОВ СУДОВ**

Основным способом защиты стальных корпусов кораблей и судов от коррозии является протекторная защита. В настоящее время оценка эффективности работы протекторной защиты является сложной и трудоемкой задачей, требующей значительных затрат и применения специального оборудования. Обоснована возможность исключения дорогостоящего внешнего осмотра при контроле систем протекторной защиты стальных корпусов судов, что позволяет снизить трудоемкость контроля и расходы на его выполнение. Для определения технического состояния систем протекторной защиты на исследуемых судах выполнялись измерения потенциала корпуса судна и силы защитного тока, набегающего на электрод сравнения в шести контрольных точках. Измерения контрольных параметров были выполнены трижды, прецизионность измерений подтверждается математико-статистическими методами.

**Ключевые слова:** коррозия стальных корпусов судов, электрохимическая защита судов от коррозии, протекторная защита, измерение потенциала корпуса и силы тока в контрольных точках.

### **Введение**

Коррозия стальных корпусов судов – одна из главных причин износа судов, снижения их прочности и безопасности [1, 2]. Предупреждение преждевременного износа корпуса судна является повседневной задачей экипажа судна [3, 4].

Для защиты стальных корпусов судов от коррозии используются системы электрохимической защиты (катодные и протекторные), которые должны обеспечить необходимый ( $-0,85$  В) потенциал корпуса [5, 6].

На судах рыбопромыслового флота и большинстве кораблей для защиты стальных корпусов от коррозии применяют протекторную защиту [6, 7].

Согласно нормативным документам (НД) «...при работе системы протекторной защиты периодически <...> необходимо измерять потенциал корпуса защищаемого объекта в контрольных точках по длине корпуса судна» [6]. Кроме измерения потенциала корпуса, в состав контрольных проверок входят:

- внешний осмотр протекторной защиты;
- проверка работоспособности хлорсеребряных электродов сравнения [6].

Эти проверки на рыбопромысловых судах не выполняются из-за высокой стоимости работ и организационных затруднений, возникающих при проведении контрольных проверок [8]. Авторами работ [9, 10] разработано устройство для проверки работоспособности электродов сравнения, использование которого не вызывает затруднений (финансовых, технических и организационных) у экипажей судов и кораблей. Использование этого устройства совместно с результатами работ [11–19] позволяет решить проблему выполнения точных измерений потенциала стальных корпусов судов. Остается решить проблему дорогостоящего внешнего осмотра протекторной защиты.

Цель исследования – обосновать возможность исключения дорогостоящего внешнего осмотра протекторных систем за счет использования дополнительного контролируемого параметра этих систем, а именно: результатов измерения силы защитного тока в контрольных точках. Для этого необходимо было определить вид технического состояния протекторных систем группы судов Камчатского флота, используя способ контроля, разработанный нами в [19]. Необходимо было также привлечь к научным исследованиям курсантов мореходного факультета Камчатского государственного технического университета (МФ «КамчатГТУ») с целью подготовки их к эксплуатации систем электрохимической защиты.

### **Эксперименты и их обсуждение**

Для достижения поставленной цели были выполнены следующие эксперименты. На пяти судах типа СТР проекта 503 с бортовыми номерами 704, 282, 395, 277, 818 и стальном понтоне

контролировали техническое состояние систем протекторной защиты. Для этого курсанты МФ «КамчатГТУ» измеряли в контрольных точках корпуса его потенциал и силу защитного тока, набегающего на электрод сравнения [19]. Измерения проводили в 6-ти контрольных точках согласно рекомендациям [6, 7]. На понтоне измерения выполняли в 2-х контрольных точках.

Измерения контролируемых параметров выполняли с помощью мультиметра DT-830B и переносного электрода сравнения, изготовленного курсантами МФ «КамчатГТУ» способом, предложенным в [19]. В каждой контрольной точке, согласно рекомендациям [6], трижды измеряли значения контролируемых параметров. Рассчитали среднее значение, дисперсию, стандартное отклонение, коэффициент вариации результатов измерений [20–23]. Схема расположения контрольных точек корпуса судна приведена на рис. 1. Схема расположения контрольных точек корпуса понтона приведена на рис. 2. Результаты измерений и расчетов приведены в табл. 1.

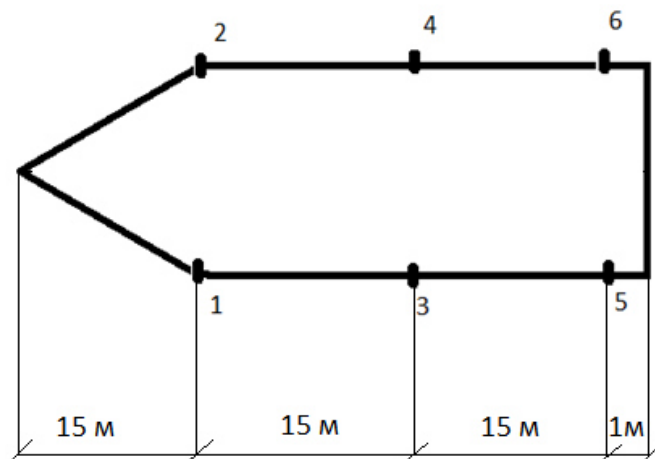


Рис. 1. Схема расположения контрольных точек корпуса судна

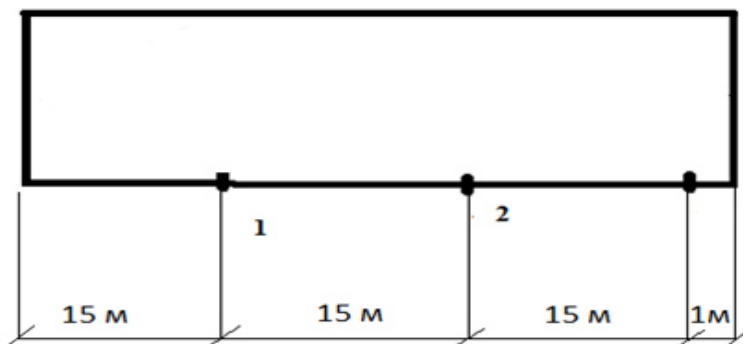


Рис. 2. Схема расположения контрольных точек корпуса понтона

Таблица 1

**Результаты измерений контролируемых параметров систем протекторной защиты стальных корпусов судов и понтона**

№ контрольной точки	Измеряемые параметры	Дата измерения 14.05.2016	Результаты измерения потенциала корпуса $U$ , В, и силы тока $I$ , мА, в контрольных точках судна					
		№ измерения	№ судна					
			704	282	395	277	818	понтон
I	Потенциал $U$ , В	1	0,643	0,548	0,574	0,618	0,662	0,481
		2	0,644	0,547	0,576	0,619	0,662	0,483
		3	0,637	0,548	0,577	0,619	0,662	0,484

**Результаты измерений контролируемых параметров систем протекторной защиты  
стальных корпусов судов и понтона**

№ контрольной точки	Измеряемые параметры	Дата измерения 14.05.2016	Результаты измерения потенциала корпуса $U$ , В, и силы тока $I$ , мА, в контрольных точках судна						
		№ измерения	№ судна						
			704	282	395	277	818	понтон	
		Среднее значение $C_c$ , В	0,641	0,548	0,576	0,619	0,662	0,483	
		Дисперсия $S^2$	0,000 015	0,000 000 5	0,000 002 5	0,000 000 5	0	0,000 002 5	
		Стандартное отклонение $S$	0,004	0,000 7	0,001 6	0,000 7	0	0,001 6	
		Коэффициент вариации $V$ , %	0,6	0,1	0,3	0,1	0	0,3	
	Сила тока $I$ , мА	1	12,50	10,25	10,63	9,92	8,50	2,58	
		2	12,60	10,28	10,60	9,84	8,29	2,46	
		3	12,65	10,19	10,56	9,63	7,90	2,34	
		Среднее значение $C_c$ , мА	12,58	10,24	10,60	9,80*	8,23*	2,46*	
		Дисперсия $S^2$	0,005 85	0,002 1	0,001 25	0,022 45	0,092 7	0,014 4	
		Стандартное отклонение $S$	0,076	0,046	0,035	0,149 8	0,304 5	0,12	
		Коэффициент вариации $V$ , %	0,6	0,4	0,3	1,5	3,7	4,9	
		II	Потенциал $U$ , В	1	0,571	0,535	0,592	0,610	0,628
	2			0,574	0,537	0,587	0,611	0,628	–
	3			0,576	0,538	0,583	0,609	0,640	–
Среднее значение $C_c$ , В	0,574			0,537	0,587	0,610	0,632	–	
Дисперсия $S^2$	0,000 006 5			0,000 002 5	0,000 02	0,000 001	0,000 048	–	
Стандартное отклонение $S$	0,002 5			0,001 6	0,004 5	0,001	0,006 9	–	
Сила тока $I$ , мА	1		12,00	10,62	10,55	9,38	6,70	–	
	2		12,02	10,57	10,54	8,77	6,47	–	
	3		12,06	10,55	10,48	8,50	6,15	–	
	Среднее значение $C_c$ , мА		12,03	10,58	10,52	8,88*	6,44*	–	
	Дисперсия $S^2$		0,000 95	0,001 3	0,001 45	0,203 25	0,076 3	–	
	Стандартное отклонение $S$		0,030 8	0,036 1	0,038 1	0,450 8	0,276 2	–	
	Коэффициент вариации $V$ , %		0,3	0,3	0,4	5,1	4,3	–	
	III		Потенциал $U$ , В	1	0,507	0,529	0,574	0,591	0,754
2		0,602		0,534	0,576	0,592	0,755	0,455	
3		0,604		0,538	0,575	0,593	0,735	0,459	
Среднее значение $C_c$ , В		0,571		0,534	0,575	0,592	0,748	0,441	
Дисперсия $S^2$		0,003 073		0,000 02	0,000 001	0,000 001	0,012 7	0,000 7	
Стандартное отклонение $S$		0,055 43		0,004 5	0,001	0,001	0,112 7	0,027	
Сила тока $I$ , мА		1	13,86	10,59	10,70	9,70	0,07	2,18	
		2	13,94	10,62	10,74	9,62	0,07	2,10	
		3	13,98	10,66	10,73	9,58	0,07	2,05	
		Среднее значение $C_c$ , мА	13,93	10,62	10,72	9,63*	0,07*	2,11*	
		Дисперсия $S^2$	0,003 75	0,001 25	0,000 45	0,003 75	0	0,004 3	
		Стандартное отклонение $S$	0,061 2	0,035	0,021 2	0,061 2	0	0,065 6	
		Коэффициент вариации $V$ , %	0,4	0,3	0,2	0,6	0	3,1	

**Результаты измерений контролируемых параметров систем протекторной защиты  
стальных корпусов судов и понтона**

№ контрольной точки	Измеряемые параметры	Дата измерения 14.05.2016	Результаты измерения потенциала корпуса $U$ , В, и силы тока $I$ , мА, в контрольных точках судна					
		№ измерения	№ судна					
			704	282	395	277	818	понтон
IV	Потенциал $U$ , В	1	0,615	0,570	0,586	0,604	0,630	–
		2	0,616	0,570	0,580	0,605	0,635	–
		3	0,618	0,570	0,587	0,605	0,639	–
		Среднее значение $C_c$ , В	0,616	0,570	0,584	0,605	0,635	–
		Дисперсия $S^2$	0,000 002 5	0	0,000 015	0,000 000 5	0,000 02	–
		Стандартное отклонение $S$	0,001 6	0	0,004	0,000 7	0,004 5	–
	Сила тока $I$ , мА	1	11,65	10,60	10,64	10,27	5,50	–
		2	11,78	10,59	10,55	10,00	5,41	–
		3	11,84	10,62	10,58	9,96	5,19	–
		Среднее значение $C_c$ , мА	11,76	10,60	10,59	10,08	5,37*	–
		Дисперсия $S^2$	0,009 45	0,000 25	0,002 5	0,028 45	0,025 45	–
		Стандартное отклонение $S$	0,097 2	0,015 8	0,05	0,168 7	0,159 5	–
		Коэффициент вариации $V$ , %	0,8	0,2	0,5	1,7	3,0	–
		V	Потенциал $U$ , В	1	0,860	0,591	0,626	0,618
2	0,858			0,572	0,627	0,619	0,627	–
3	0,856			0,584	0,627	0,620	0,631	–
Среднее значение $C_c$ , В	0,858			0,582	0,627	0,619	0,626	–
Дисперсия $S^2$	0,000 004			0,000 092 5	0,000 000 5	0,000 001	0,000 037	–
Стандартное отклонение $S$	0,002			0,009 6	0,000 7	0,001	0,006 1	–
Сила тока $I$ , мА	1		15,10	11,34	12,05	11,17	3,78	–
	2		15,00	11,28	12,03	11,32	3,60	–
	3		14,98	11,06	11,99	11,28	3,88	–
	Среднее значение $C_c$ , мА		15,03	11,23	12,02	11,26	3,75*	–
	Дисперсия $S^2$		0,004 15	0,021 75	0,000 95	0,006 05	0,020 15	–
	Стандартное отклонение $S$		0,064 4	0,147 5	0,030 8	0,077 8	0,141 9	–
	Коэффициент вариации $V$ , %		0,4	1,3	0,3	0,7	3,8	–
	VI		Потенциал $U$ , В	1	0,584	0,558	0,659	0,624
2		0,586		0,560	0,591	0,624	0,675	–
3		0,589		0,567	0,593	0,625	0,675	–
Среднее значение $C_c$ , В		0,586		0,562	0,614	0,624	0,675	–
Дисперсия $S^2$		0,000 006 5		0,000 022 5	0,001 589	0,000 000 5	0,000 000 5	–
Стандартное отклонение $S$		0,002 5		0,004 7	0,039 9	0,000 7	0,000 7	–
Сила тока $I$ , мА		1	12,97	11,27	11,86	10,86	5,08	–
		2	12,74	11,29	11,82	10,83	4,78	–
		3	12,78	11,27	11,81	10,83	4,60	–
		Среднее значение $C_c$ , мА	12,83	11,28	11,83	10,84	4,82*	–
		Дисперсия $S^2$	0,015 1	0,000 15	0,000 55	0,000 55	0,058 8	–
		Стандартное отклонение $S$	0,122 9	0,012 2	0,023 5	0,023 5	0,242 5	–
		Коэффициент вариации $V$ , %	1,0	0,1	0,2	0,2	5,0	–

\* Значение силы защитного тока меньше допустимой величины (10 мА).

Для подтверждения полученных результатов исследований выполнили дополнительный эксперимент. При этом были сохранены технические средства, используемые для измерений потенциала корпуса, условия выполнения измерений, состав группы операторов. Результаты повторных измерений и расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Результаты повторных измерений контролируемых параметров систем протекторной защиты стальных корпусов судов и понтона**

№ контрольной точки	Измеряемый параметр	Дата измерения 25.05.2016	Результаты измерения потенциала корпуса $U$ , В, и силы тока $I$ , мА, в контрольных точках судна					
		№ измерения	№ судна					
			704	282	395	277	818	понтон
I	Потенциал $U$ , В	1	0,525	0,511	0,520	0,667	0,641	0,447
		2	0,527	0,512	0,522	0,668	0,645	0,447
		3	0,508	0,512	0,520	0,668	0,648	0,447
		Среднее значение $C_c$ , В	0,520	0,512	0,521	0,668	0,645	0,447
		Дисперсия $S^2$	0,007 37	0,000 000 5	0,000 001 5	0,000 000 5	0,000 01 2	0
		Стандартное отклонение $S$	0,085 1	0,000 7	0,001 2	0,000 7	0,003 5	0
		Коэффициент вариации $V$ , %	16,4	0,1	0,2	0,1	0,6	0
	Сила тока $I$ , мА	1	0,85	0,76	0,72	0,76	12,50	0,59
		2	0,83	0,78	0,72	0,74	12,36	0,60
		3	0,80	0,71	0,69	0,72	12,36	0,65
		Среднее значение $C_c$ , мА	0,83*	0,75*	0,71*	0,74*	12,41	0,61*
		Дисперсия $S^2$	0,000 65	0,001 3	0,000 3	0,000 4	0,004 9	0,001 5
		Стандартное отклонение $S$	0,025 5	0,036 1	0,017 3	0,02	0,07	0,032 4
		Коэффициент вариации $V$ , %	3,1	0,3	2,4	2,7	0,6	5,3
II	Потенциал $U$ , В	1	0,518	0,531	0,554	0,590	0,544	–
		2	0,520	0,532	0,555	0,590	0,546	–
		3	0,520	0,532	0,556	0,591	0,549	–
		Среднее значение $C_c$ , В	0,519	0,532	0,555	0,590	0,546	–
		Дисперсия $S^2$	0,000 001 5	0,000 000 5	0,000 001	0,000 000 5	0,000 006 5	–
		Стандартное отклонение $S$	0,001 2	0,000 7	0,001	0,000 7	0,002 5	–
		Коэффициент вариации $V$ , %	0,2	0,1	0,2	0,1	0,4	–
	Сила тока $I$ , мА	1	0,86	0,86	0,85	0,77	0,90	–
		2	0,86	0,80	0,80	0,77	0,85	–
		3	0,79	0,82	0,85	0,72	0,83	–
		Среднее значение $C_c$ , мА	0,84*	0,83*	0,83*	0,75*	0,86*	–
		Дисперсия $S^2$	0,001 65	0,000 95	0,000 85	0,000 85	0,001 3	–
		Стандартное отклонение $S$	0,040 6	0,030 8	0,029 1	0,029 1	0,036 1	–
		Коэффициент вариации $V$ , %	4,8	3,7	3,5	3,9	4,2	–
III	Потенциал $U$ , В	1	0,563	0,543	0,569	0,599	0,595	0,425
		2	0,562	0,543	0,569	0,599	0,600	0,425
		3	0,563	0,543	0,570	0,599	0,600	0,425
		Среднее значение $C_c$ , В	0,563	0,543	0,669	0,599	0,598	0,425
		Дисперсия $S^2$	0,000 000 5	0	0,000 000 5	0	0,000 008 5	0
		Стандартное отклонение $S$	0,000 7	0	0,000 7	0	0,002 9	0
		Коэффициент вариации $V$ , %	0,1	0	0,1	0	0,5	0
	Сила тока $I$ , мА	1	0,90	0,82	0,88	0,84	1,54	0,58
		2	0,88	0,86	0,85	0,80	1,31	0,57
		3	0,87	0,87	0,78	0,81	1,33	0,62
		Среднее значение $C_c$ , мА	0,88*	0,85*	0,84*	0,82*	1,39*	0,59*
		Дисперсия $S^2$	0,000 25	0,000 7	0,002 65	0,000 45	0,016 25	0,000 7
		Стандартное отклонение $S$	0,015 8	0,026 5	0,051 5	0,021 2	0,127 5	0,026 5
		Коэффициент вариации $V$ , %	1,8	3,1	6,1	2,6	9,2	4,5

**Результаты повторных измерений контролируемых параметров систем протекторной защиты  
стальных корпусов судов и понтона**

№ контрольной точки	Измеряемый параметр	Дата измерения 25.05.2016	Результаты измерения потенциала корпуса $U$ , В, и силы тока $I$ , мА, в контрольных точках судна					
		№ измерения	№ судна					
			704	282	395	277	818	понтон
IV	Потенциал $U$ , В	1	0,540	0,541	0,546	0,591	0,642	–
		2	0,539	0,541	0,548	0,596	0,642	–
		3	0,539	0,541	0,549	0,596	0,642	–
		Среднее значение $C_c$ , В	0,539	0,541	0,548	0,594	0,642	–
		Дисперсия $S^2$	0,000 000 5	0	0,000 006 5	0,000 008 5	0	–
		Стандартное отклонение $S$	0,000 7	0	0,002 5	0,002 9	0	–
	Сила тока $I$ , мА	1	0,96	0,93	0,91	0,79	0,90	–
		2	0,87	0,89	0,88	0,81	0,87	–
		3	0,86	0,88	0,90	0,75	0,84	–
		Среднее значение $C_c$ , мА	0,90*	0,90*	0,90*	0,78*	0,87*	–
		Дисперсия $S^2$	0,003 05	0,000 7	0,000 25	0,000 95	0,000 9	–
		Стандартное отклонение $S$	0,055 2	0,026 5	0,015 8	0,030 8	0,03	–
V	Потенциал $U$ , В	1	0,591	0,572	0,548	0,626	0,658	–
		2	0,592	0,572	0,550	0,626	0,658	–
		3	0,592	0,572	0,551	0,626	0,658	–
		Среднее значение $C_c$ , В	0,592	0,572	0,550	0,626	0,658	–
		Дисперсия $S^2$	0,000 000 5	0	0,000 002 5	0	0	–
		Стандартное отклонение $S$	0,000 7	0	0,001 6	0	0	–
	Сила тока $I$ , мА	1	0,87	0,92	1,04	0,93	1,12	–
		2	0,88	0,96	1,01	0,92	0,95	–
		3	0,80	0,92	0,97	0,88	0,86	–
		Среднее значение $C_c$ , мА	0,85*	0,93*	1,01*	0,91*	0,98*	–
		Дисперсия $S^2$	0,001 9	0,000 55	0,000 125	0,000 7	0,017 45	–
		Стандартное отклонение $S$	0,043 6	0,023 5	0,035 4	0,026 5	0,132 1	–
VI	Потенциал $U$ , В	1	0,586	0,570	0,560	0,619	0,666	–
		2	0,586	0,571	0,566	0,619	0,666	–
		3	0,586	0,571	0,561	0,619	0,666	–
		Среднее значение $C_c$ , В	0,586	0,571	0,562	0,619	0,666	–
		Дисперсия $S^2$	0	0,000 000 5	0,000 010 5	0	0	–
		Стандартное отклонение $S$	0	0,000 7	0,003 2	0	0	–
	Сила тока $I$ , мА	1	1,23	1,28	1,20	0,98	1,19	–
		2	1,25	1,18	1,15	1,00	1,20	–
		3	1,20	1,14	1,10	0,97	1,11	–
		Среднее значение $C_c$ , мА	1,23*	1,20*	1,15*	0,98*	1,17*	–
		Дисперсия $S^2$	0,000 65	0,005 2	0,002 5	0,000 25	0,002 45	–
		Стандартное отклонение $S$	0,025 5	0,072 1	0,05	0,015 8	0,049 5	–
Кoeffициент вариации $V$ , %	0	0,1	0,6	0	0	–		
	2,1	6,0	4,4	1,6	4,2	–		

\* Значение силы защитного тока меньше допустимой величины (10 мА).

Из результатов выполненных исследований следует:

- от внешнего осмотра систем протекторной защиты можно отказаться, используя вместо осмотра измерения силы защитного тока;
- техническое состояние систем протекторной защиты на исследуемых судах в отдельных контрольных точках относится к виду «неработоспособное» [7, 24];
- на стальном понтоне отсутствует защита от коррозии, что является нарушением НД [6].

### Заключение

Усовершенствованный способ контроля систем протекторной защиты стальных корпусов необходимо внедрять на судах Камчатского флота. Это позволит снизить затраты на контроль и предотвратить преждевременный износ корпусов судов и таким образом повысить безопасность эксплуатации судов. Так как этот способ сумели использовать на практике курсанты 3 курса МФ «КамчатГТУ», есть основания надеяться, что с этой работой справятся экипажи судов Камчатского флота.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марткович А. М. Борьба с коррозией корпуса судна. М.: Морской транспорт, 1955. 170 с.
2. Зобочев Ю. Е., Солинская Э. В. Защита судов от коррозии и обрастания. М.: Транспорт, 1984. 174 с.
3. Максимаджи А. И., Беленький Л. М., Бринер А. С. Оценка технического состояния корпусов морских судов. Л.: Судостроение, 1982. 156 с.
4. Коробцов И. М. Техническое обслуживание и ремонт флота. М.: Транспорт, 1975. 195 с.
5. Улиг Г. Т., Реву Р. У. Коррозия и борьба с ней. Л.: Химия, 1989. 454 с.
6. Руководство по защите корпусов надводных кораблей ВМФ от коррозии и обрастания. М: Военное издательство, 2002. 350 с.
7. 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 20.07.2015).
8. Белов О. А., Дороганов А. Б. Проблемы методологии контроля электрохимической защиты стальных корпусов кораблей и судов // Вестн. Камчат. гос. техн. ун-та. 2016. Вып. 37. С. 10–13.
9. Швецов В. А., Белозёров П. А., Адельшина Н. В., Кирносенко В. А., Белавина О. А. Испытание устройства для проверки правильности показаний хлорсеребряных электродов сравнения // Вестн. Камчат. гос. техн. ун-та. 2015. Вып. 31. С. 47–55.
10. Пат. РФ № 154475. Устройство для проверки правильности показаний хлорсеребряных электродов сравнения / Швецов В. А., Белозёров П. А., Адельшина Н. В., Белавина О. А., Коростылёв Д. В.; опубл. 27.08.2015.
11. Белозеров П. А., Швецов В. А., Белавина О. А., Шунькин Д. В., Коростылев Д. В. Совершенствование методики контроля защитного потенциала стальных корпусов кораблей и судов // Наука, образование, инновации: пути развития: материалы V Всерос. науч.-практ. конф. (Петропавловск-Камчатский, 18–20 марта 2014 г.). Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2014. Ч. 2. С. 10–11.
12. Малиновский С. А., Белозёров П. А., Швецов В. А., Белавина О. А., Шунькин Д. В., Коростылёв Д. В., Пахомов В. А., Адельшина Н. В. Эксплуатация систем протекторной защиты на судах камчатского флота // Наука, образование, инновации: пути развития: материалы VI Всерос. науч.-практ. конф. (Петропавловск-Камчатский, 21–24 апреля 2015 г.). Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2015. С. 144–146.
13. Швецов В. А., Белозёров П. А., Коростылёв Д. В., Пахомов В. А., Малиновский С. А., Белавина О. А., Адельшина Н. В. Испытание устройства для измерения защитного потенциала стальных корпусов кораблей и судов // Наука, образование, инновации: пути развития: материалы VI Всерос. науч.-практ. конф. (Петропавловск-Камчатский, 21–24 апреля 2015 г.). Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2015. С. 164–166.
14. Белозёров П. А., Швецов В. А., Петренко О. Е., Коростылев Д. В., Белавина О. А., Кирносенко В. В. Обоснование выбора переносного милливольтметра для измерения защитного потенциала стальных корпусов кораблей и судов // Вестн. Камчат. гос. техн. ун-та. 2016. Вып. 36. С. 12–18.
15. Швецов В. А., Белозёров 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.
16. Швецов В. А., Белозёров П. А., Адельшина Н. В., Белавина О. А., Петренко О. Е., Шунькин Д. В., Кирносенко 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.
17. Белозёров 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.

18. Швецов В. А., Белов О. А., Белозёров П. А., Белавина О. А., Кирносенко 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.

19. Пат. РФ № 2589246. Способ контроля режима работы протекторной защиты стальных корпусов кораблей и судов / Швецов В. А., Адельшина Н. В., Белозеров П. А., Коростылев Д. В., Белавина О. А.; опубл. 10.07.2016.

20. ГОСТ Р 8.563-2009. ГСИ. Методики (методы) измерений. URL: snipov.net/c\_4703\_snip\_58834.html (дата обращения: 08.09.2016).

21. ГОСТ Р 8.736-2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. Издание официальное. М.: Стандартинформ, 2013. 24 с.

22. Смагунова А. Н., Шмелева Е. И., Швецов В. А. Алгоритмы оперативного и статического контроля качества работы аналитической лаборатории. Новосибирск: Наука, 2008. 60 с.

23. Смагунова А. Н., Карпукова О. М. Методы математической статистики в аналитической химии. Ростов на Дону: Феникс, 2012. 346 с.

24. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения. URL: StandartGost.ru/g/ (дата обращения: 08.09.2016).

Статья поступила в редакцию 16.01.2017

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Швецов Владимир Алексеевич** – Россия, 683003, Петропавловск-Камчатский; Камчатский государственный технический университет; г-р хим. наук, доцент; профессор кафедры электро- и радиооборудования судов; oni@kamchatgtu.ru.

**Белов Олег Александрович** – Россия, 683003, Петропавловск-Камчатский; Камчатский государственный технический университет; канд. техн. наук; зав. кафедрой электро- и радиооборудования судов; boa-1@mail.ru.

**Белавина Ольга Александровна** – Россия, 683003, Петропавловск-Камчатский; Камчатский государственный технический университет; специалист по научно-технической информации отдела науки и инноваций; oni@kamchatgtu.ru.

**Ястребов Дмитрий Павлович** – Россия, 683003, Петропавловск-Камчатский; Камчатский государственный технический университет; курсант мореходного факультета; oni@kamchatgtu.ru.



*V. A. Shvetsov, O. A. Belov, O. A. Belavina, D. P. Yastrebov*

#### RATIONALE OF POSSIBLE EXCEPTION OF VISUAL INSPECTION OF CATHODIC PROTECTION SYSTEMS OF STEEL HULL

**Abstract.** The main method of steel hull protection from corrosion is sacrificial protection. Today the performance assessment of the sacrificial protection is difficult and laborious problem which demands substantial costs and application of job-dedicated machinery. In the article the possibility of the exception of expensive visual inspection to control cathodic protection systems of steel hulls is proved. It allows reducing the complexity of control and the costs of its implementation. Measurements the potential of the ship's hull and the strength of protection current running on a reference electrode in six control points have been carried out to determine the technical condition of cathodic protection systems in the studied vessels. Measurements of control parameters were performed three times; precision of measurements is confirmed by mathematical and statistical methods.

**Key words:** corrosion of steel hulls, electrochemical corrosion protection of ships, cathodic protection, measurement of hull potential and current strength in control points.



## REFERENCES

1. Martkovich A. M. *Bor'ba s korroziei korpusa sudna* [Eradication of corrosion of the hull]. Moscow, Morskoi transport Publ., 1955. 170 p.
2. Zobochev Iu. E., Solinskaia E. V. *Zashchita sudov ot korrozii i obrastaniia* [Protection of ships against corrosion and fouling]. Moscow, Transport Publ., 1984. 174 p.
3. Maksimadzi A. I., Belen'kii L. M., Briner A. S. *Otsenka tekhnicheskogo sostoiianiia korpusov morskikh sudov* [Estimation of the technical condition of ship hulls]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1982. 156 p.
4. Korobtsov I. M. *Tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont flota* [Maintenance and repair of the fleet]. Moscow, Transport Publ., 1975. 195 p.
5. Ulig G. T., Revi R. U. *Korrozii i bor'ba s nei* [Corrosion and struggle against it]. Leningrad, Khimiia Publ., 1989. 454 p.
6. *Rukovodstvo po zashchite korpusov nadvodnykh korablei VMF ot korrozii i obrastaniia* [Manual for the hull protection of the Navy surface ships against corrosion and fouling]. Moscow, Voennoe izdatel'stvo, 2002. 350 p.
7. *GOST 9.056-75. Stal'nye korpusa korablei i sudov. Obshchie trebovaniia k elektrokhimicheskoi zashchite pri dolgovremennom stoianochnom rezhime* [GOST 9.056-75. The steel hull ships. General requirements for electrochemical protection for long-term parking mode]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200015017> (accessed: 20.07.2015).
8. Belov O. A., Doroganov A. B. Problemy metodologii kontroliia elektrokhimicheskoi zashchity stal'nykh korpusov korablei i sudov [Problems of monitoring methodology of electrochemical protection of steel hulls of ships and vessels]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2016, iss. 37, pp. 10–13.
9. Shvetsov V. A., Belozеров P. A., Adel'shina N. V., Kirnosenko V. A., Belavina O. A. Ispytanie ustroistva dlia proverki pravil'nosti pokazanii khloroserebrianykh elektrodov sravneniia [Testing of device to check the correct readings of chloride silver reference electrodes]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2015, iss. 31, pp. 47–55.
10. Shvetsov V. A., Belozеров P. A., Adel'shina N. V., Belavina O. A., Korostylev D. V. *Ustroistvo dlia proverki pravil'nosti pokazanii khloroserebrianykh elektrodov sravneniia* [The device to check the correct readings of chloride silver reference electrodes]. Patent RF, no. 154475, 27.08.2015.
11. Belozеров P. A., Shvetsov V. A., Belavina O. A., Shun'kin D. V., Korostylev D. V. Sovershenstvovanie metodiki kontroliia zashchitnogo potentsiala stal'nykh korpusov korablei i sudov [Improving the monitoring methodology of protective potential of steel hulls of ships and vessels]. *Nauka, obrazovanie, innovatsii: puti razvitiia. Materialy V Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Petropavlovsk-Kamchatskii, 18–20 marta 2014 g.)*. Petropavlovsk-Kamchatsky, KamchatGTU, 2014, part 2. Pp. 10–11.
12. Malinovskii S. A., Belozеров P. A., Shvetsov V. A., Belavina O. A., Shun'kin D. V., Korostylev D. V., Pakhomov V. A., Adel'shina N. V. Ekspluatatsiia sistem protektoinoi zashchity na sudakh kamchatskogo flota [Operation of cathodic protection systems on the ships of Kamchatka fleet]. *Nauka, obrazovanie, innovatsii: puti razvitiia. Materialy VI Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Petropavlovsk-Kamchatskii, 21–24 apreliia 2015 g.)*. Petropavlovsk-Kamchatsky, KamchatGTU, 2015. Pp. 144–146.
13. Shvetsov V. A., Belozеров P. A., Korostylev D. V., Pakhomov V. A., Malinovskii S. A., Belavina O. A., Adel'shina N. V. Ispytanie ustroistva dlia izmereniia zashchitnogo potentsiala stal'nykh korpusov korablei i sudov [Testing of device for measuring the protection potential of steel hulls of ships and vessels]. *Nauka, obrazovanie, innovatsii: puti razvitiia. Materialy VI Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Petropavlovsk-Kamchatskii, 21–24 apreliia 2015 g.)*. Petropavlovsk-Kamchatsky, KamchatGTU, 2015. Pp. 164–166.
14. Belozеров P. A., Shvetsov V. A., Petrenko O. E., Korostylev D. V., Belavina O. A., Kirnosenko V. V. Obosnovanie vybora perenocnogo millivol'tmetra dlia izmereniia zashchitnogo potentsiala stal'nykh korpusov korablei i sudov [Justification of the choice of portable millivoltmeter for measuring the protection potential of steel hulls of ships and vessels]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2016, iss. 36, pp. 12–18.
15. 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 [Justification of the choice of required number of parallel measurements of the protective potential of steel hulls of ships and vessels in the control point]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2016, iss. 35, pp. 40–46.
16. 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 [The impact of the operator skills on the results of the measurement of the protective potential of steel hulls of ships and vessels]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, iss. 30, pp. 46–54.
17. 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 [Rationale for selection method of control points for measuring the protection potential of steel hulls of ships and vessels]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, iss. 28, pp. 6–11.

18. 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 [Rationale for training operators for measuring the protection potential of steel hulls of ships and vessels]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2016, iss. 37, pp. 19–24.

19. Shvetsov V. A., Adel'shina N. V., Belozеров P. A., Korostylev D. V., Belavina O. A. *Sposob kontrolya rezhima raboty protekturnoi zashchity stal'nykh korpusov korablei i sudov* [A method for controlling the operating mode of cathodic protection of steel hulls of ships and vessels]. Patent RF, no. 2589246, 10.07.2016.

20. GOST R 8.563-2009. GSI. Metodiki (metody) izmerenii [GOST R 8.563-2009. GSI. Techniques (methods) measurements]. Available at: [snfov.net/c\\_4703\\_snip\\_58834.html](http://snfov.net/c_4703_snip_58834.html) (accessed: 08.09.2016).

21. GOST R 8.736-2011. Gosudarstvennaia sistema obespecheniia edinstva izmerenii. Izmereniia priamyie mnogokratnye. Metody obrabotki rezul'tatov izmerenii. Osnovnye polozeniia. Izdanie ofitsial'noe [GOST R 8.736-2011. State system for ensuring the uniformity of measurements. Direct repeated measurements. Methods for processing the measurement results. The main provisions. Official publication]. Moscow, Standartinform Publ., 2013. 24 p.

22. Smagunova A. N., Shmeleva E. I., Shvetsov V. A. *Algoritmy operativnogo i staticheskogo kontrolya kachestva raboty analiticheskoi laboratorii* [Algorithms of operational and static quality control of analytical laboratory]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2008. 60 p.

23. Smagunova A. N., Karpukova O. M. *Metody matematicheskoi statistiki v analiticheskoi khimii* [Methods of mathematical statistics in analytical chemistry]. Rostov-on-Don, Feniks Publ., 2012. 346 p.

24. GOST 20911-89. Tekhnicheskaiia diagnostika. Terminy i opredeleniia [GOST 20911-89. Technical diagnostics. Terms and Definitions]. Available at: [StandartGost.ru/g/](http://StandartGost.ru/g/) (accessed: 08.09.2016).

The article submitted to the editors 16.01.2017

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Shvetsov Vladimir Alekseevich** – Russia, 683003, Petropavlovsk-Kamchatsky; Kamchatka State Technical University; Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor; Professor of the Department of Electrical and Radio Equipment of Ships; [oni@kamchatgtu.ru](mailto:oni@kamchatgtu.ru).

**Belov Oleg Aleksandrovich** – Russia, 683003, Petropavlovsk-Kamchatsky; Kamchatka State Technical University; Candidate of Technical Sciences; Head of the Department of Electrical and Radio Equipment of Ships; [boa-1@mail.ru](mailto:boa-1@mail.ru).

**Belavina Olga Aleksandrovna** – Russia, 683003, Petropavlovsk-Kamchatsky; Kamchatka State Technical University; Specialist in Technical and Scientific Information of the Department of Science and Innovation; [oni@kamchatgtu.ru](mailto:oni@kamchatgtu.ru).

**Yastrebov Dmitry Pavlovich** – Russia, 683003, Petropavlovsk-Kamchatsky; Kamchatka State Technical University; Cadet of Maritime Department; [oni@kamchatgtu.ru](mailto:oni@kamchatgtu.ru).

