

СУДОСТРОЕНИЕ

Издаётся с 1898 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0039-4580

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СУДОВ

№ 2
2017
март-апрель

**ВОЕННОЕ
КОРАБЛЕСТРОЕНИЕ**

**СУДОВОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ**

**ТЕХНОЛОГИЯ
СУДОСТРОЕНИЯ**

ИСТОРИЯ



ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗАЩИТЫ СУДОВ ОТ КОРРОЗИИ В АРКТИКЕ¹

Е. Б. Атрушкевич, канд. экон. наук (Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД), Э. В. Соминская, канд. техн. наук, Е. С. Хитов (АО «ЦНИИМФ, e-mail: cniimf@cniimf.ru)

УДК 656.6:620.193; 656.6:620.197

Международная морская организация (ИМО) в своих Конвенциях и Резолюциях рассматривает защиту судов от коррозии как неотъемлемую часть безопасной эксплуатации судна.

Одной из наиболее сложных задач остается защита от коррозии/абразивного износа подводной части ледоколов и судов ледового плавания при эксплуатации в Арктике.

При эксплуатации во льдах происходит постоянное уменьшение толщины наружной обшивки вследствие коррозионного износа и истирания. В табл. 1 представлено среднегодовое уменьшение толщины наружной обшивки для категорий ледовых усилений, установленных в Правилах Российского морского регистра судоходства, далее РС [1].

В связи с опасностью утонения корпуса в процессе эксплуатации из-за абразивного износа при проектировании ледоколов и полярных судов принимаются повышенные запасы на коррозию. Это приводит к существенному увеличению металлоемкости ледоколов и полярных судов и отрицательно влияет на их энергоэффективность.

Надбавка на коррозию/абразивный износ наружной обшивки зависит от наличия или отсутствия эффективных средств защиты от коррозии. В табл. 2 приведены величины надбавок на коррозию/износ, применяемые при определении толщины наружной обшивки для каждого знака полярного класса [2].

При плавании во льдах арктических морей на корпусе появляется новый вид коррозионно/эрозионного разрушения, который получил условное наименование «щёточной коррозии» и характеризуется большой степенью разрушения. Это является результатом взаимодействия металла со льдом,

Таблица 1
Среднегодовое уменьшение толщины наружной обшивки

Категории ледовых усилений	v, мм/год	
	Район по длине судна	
	Носовой и промежуточный (А и А1)	Средний и кормовой (В и С)
Ice 1	0,2	Согласно 1.1.5.2
Ice 2	0,25	
Ice 3	0,3	
Arc 4	0,36	0,26
Arc 5	0,38	0,28
Arc 6, Arc 7, Arc 8, Arc 9	0,4	0,3
Icebreaker 6	0,4	0,3
Icebreaker 7	0,5	0,35
Icebreaker 8	0,6	0,4
Icebreaker 9	0,7	0,4

Примечание: v — среднегодовое уменьшение толщины наружной обшивки вследствие коррозионного износа и истирания. При выполнении мероприятий по защите наружной обшивки от коррозионного износа и истирания (нанесение специальных покрытий, применение плакированных сталей и т. п.) определение величины «v» является предметом специального рассмотрения Регистром.

способствующим постоянной механической очистке поверхности металла от продуктов коррозии.

Предполагается, что рельеф коррозионных разрушений (высокая шероховатость и острые выступы) являются результатом катодной поляризации металла, связанной с возникновением статического электрического заряда при взаимодействии корпуса судна с плотным толстым льдом.

На примере, представленном на рис. 1, можно увидеть насколько нанесение специальных покрытий снижает шероховатость наружной обшивки и увеличивает срок эксплу-

Таблица 2
Надбавка на коррозию/абразивный износ наружной обшивки, мм

Район ледовых усилений	Эффективная защита имеется			Эффективная защита отсутствует		
	PC1 – PC3	PC4 и PC5	PC6 и PC7	PC1 – PC3	PC4 и PC5	PC6 и PC7
B, BI	3,5	2,5	2,0	7,0	5,0	4,0
BI1, Mi, Si	2,5	2,0	2,0	5,0	4,0	3,0
M1, S1, Bli, Mi, Si	2,0	2,0	2,0	4,0	3,0	2,5

¹ Первый вариант статьи опубликован в «Сборнике научных трудов» АО «ЦНИИМФ».

тации. Данные предоставлены компанией International Marine Coating [3].

За счет снижения шероховатости наружной обшивки корпуса улучшаются ходовые качества и ледопробиваемость.

К средствам защиты от коррозии подводной части корпуса ледоколов и судов ледового плавания относятся:

- плакированная корпусная сталь;
- ледостойкие лакокрасочные покрытия;
- комбинированные покрытия;
- электрохимическая защита;
- комплексная защита.

Требования к срокам службы средств защиты от коррозии ледоколов и судов ледового плавания устанавливаются в зависимости от типа судна. Для полярных судов и ледоколов срок службы составляет 25—40 лет.

Средства защиты должны обеспечивать снижение скорости коррозии обшивки ледоколов и судов ледового плавания до допустимой, определяемой в соответствии с действующими Правилами РС, а также обеспечивать равномерный характер коррозии подводной части корпуса.

Плакированные корпусные стали предназначены для защиты от коррозии ледового пояса морских ледоколов.

Толщины плакирующего коррозионностойкого слоя устанавливаются, исходя из расчетного срока службы ледокола, равного расчетной долговечности ледокола.

При применении плакированной стали не допускаются перерывы в работе электрохимической защиты корпуса.

Ледостойкие лакокрасочные покрытия предназначены для окрашивания:

- на ледоколах с плакированной сталью в ледовом поясе — под-

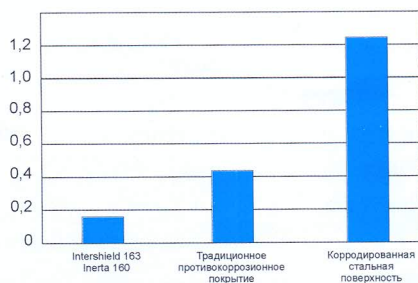


Рис. 1. Средняя шероховатость наружной обшивки (AHR)

водной части корпуса ниже ледового пояса;

- на ледоколах, ледовый пояс которых выполнен из неплакированной стали, а также на судах ледового плавания — полностью подводной поверхности корпуса.

Комбинированные покрытия включают в себя газотермическое (газопламенное или плазменное) покрытие в сочетании со специальными составами или ледостойкими лакокрасочными материалами.

Комбинированные покрытия предназначены для защиты корпусов ледоколов ниже ледового пояса.

Электрохимическая защита предназначена для защиты от коррозии подводной части корпусов ледоколов и судов ледового плавания.

Электрохимическая защита для ледовых условий должна разрабатываться для применения в сочетании с ледостойкими лакокрасочными покрытиями.

Комплексная защита ледоколов в зависимости от ледового класса представлена в табл. 3.

Для классов Icebreaker 9—Icebreaker 6 предусматривается сочетание плакированной корпусной стали в ледовом поясе, ледостойкого лакокрасочного покрытия или комбинированного покрытия и электрохимической защиты.

Комплексная защита судов ледового плавания классов Arc7, Arc6 и Arc5 предусматривает сочетание ледостойкого лакокрасочного или комбинированного покрытия с электрохимической защитой.

Комплексная защита судов ледового плавания классов Arc4 — Ice1 предусматривает применение ледостойкого лакокрасочного покрытия в сочетании с катодной или протекторной защитой.

Вышеперечисленные способы защиты относятся к эффективным.

Наиболее распространенным способом защиты от коррозии полярных судов являются специальные защитные покрытия.

К ледостойким покрытиям предъявляются специальные требования, отличающиеся от обычных требований к защитным покрытиям для подводной части корпуса.

Ледостойкие защитные покрытия должны обладать комплексом свойств:

- высокими защитными свойствами в морской воде;
- стойкостью к абразивному/эрозионному износу льдом;
- высокой механической стойкостью к ударным нагрузкам;
- эластичностью в сочетании с высокой твердостью;
- толщина одного слоя должна быть не менее 500 мкм;
- высоким сухим остатком, предпочтительно выше 96%;
- низким коэффициентом трения во льдах.

Противокоррозионные ледостойкие покрытия для подводной части должны быть совместимыми с электрохимической защитой и обладать стойкостью при потенциале минус 1, 2 В.

Требования к ледостойким покрытиям в Правилах РС установлены в части XIII «Материалы» в п. 6.5.3, а требования к истиранию покрытий установлены в 2.5 [4].

Ледостойким считается покрытие, которое способно обеспечивать защиту наружной обшивки корпуса судна от внешних воздействий в условиях ледового плавания с характеристиками, удовлетворяющими требованиям табл. 2 [2].

В табл. 4 представлены требования РС к ледостойким покрытиям.

В качестве ледостойких покрытий используются:

- эпоксидные лакокрасочные материалы с высоким сухим остатком (около 100%);

Таблица 3

Средства защиты						
Категории ледовых усилений	Плакированная корпусная сталь в ледовом поясе	Ледостойкое лакокрасочное покрытие	Комбинированное покрытие	Электрохимическая защита	Катодная защита	Протекторная защита
Icebreaker 9 — Icebreaker 6	+	+		+		
	+		+	+		
Arc 7, Arc 6, Arc 5		+		+		
			+	+		
Arc 4 — Ice1		+				+
		+			+	

• эпоксидные и полиэфирные материалы с высоким сухим остатком (около 100%), содержащим стеклянные чешуйки, пластинки, стеклянные гранулы.

Обязательным условием для эффективного применения ледостойких покрытий является очистка поверхности металла до степени Sa2¹/₂ по Стандарту ИСО 8501-1:2007 [5].

Наиболее широкое распространение получили: покрытие Intershield 163/Inerta 160 (фирма AkzoNobel) и покрытие Marathon IQ (фирма JOTUN). Они применены на сотнях судов мирового флота, в том числе в России.

В последние годы на морском рынке появились новые ледостойкие покрытия: Ecospeed (фирма Subsea Industries, Бельгия) и Sigma Shield (фирма Sigma Coating). Покрытие Ecospeed обладает исключительно высокой твердостью и минимальной шероховатостью — 20 мкм, обладает высокой адгезией. Предполагаемый срок службы составляет 10 лет.

Покрытие Sigma Shield предназначено для эксплуатации в тяжелых льдах. Представляет собой армированное эпоксидное покрытие.

Вышеперечисленные покрытия одобрены классификационными обществами в качестве абразивостойких покрытий, снижающих сопротивление во льдах.

На рис. 2 представлен коэффициент трения для покрытия Inerta-160, стандартного покрытия и корродированной поверхности.

Покрытия обладают стойкостью при температуре минус 50 °С и соответствуют требованиям Полярного Кодекса [6].

В табл. 5 представлены основные технические характеристики покрытия Intershield 163/Inerta-160, Marathon IQ, Ecospeed.

На рис. 3 представлено сравнение эксплуатационных характеристик традиционных и ледостойких покрытий.

АО «ЦНИИМФ» в течение многих лет занимался исследованиями, связанными с технико-экономическими обоснованиями применения ледостойких покрытий, освоением и внедрением технологий их нанесения на судостроительных и судоремонтных предприятиях и проводил более 20 лет мониторинг судов, на которых применялись ледостойкие покрытия. В настоящее время технология нане-

Таблица 4

Требования РС к ледостойким покрытиям

Наименование показателя	Для ледоколов всех категорий ледовых усилений	Для судов ледового плавания с категорией ледовых усилений Агс4 и выше
Долговечность согласно стандарту ИСО 12944-6 для категории коррозионной активности Im2 в соответствии со стандартом ИСО 12444-2 (см. 2.5.1)	Большая	Большая
Адгезия, определяемая методом решетчатых надрезов согласно стандарту ИСО 2409 после испытаний на стойкость к воздействию низкой температуры (см. 2.5.2.3), баллов	Не более 3	Не более 3
Адгезия, определяемая методом крестообразных надрезов согласно стандарту ИСО 16276-2 после испытаний на стойкость к воздействию низкой температуры (см. 2.5.2.3), баллов	Не более 3	Не более 3
Адгезионная прочность согласно стандарту ИСО 4624 (см 2.5.3.4), МПа	Более 10	Более 8
Стойкость к истиранию после 1000 циклов испытаний на абразиметре Табера (колесо CS-17) (см. 2.5.4), мг	Не более 120	Не более 160
Прочность при ударе согласно стандарту ИСО 6272 (см. 2.5.5), Дж	Не менее 8	Не менее 5
Стойкость к катодному отслаиванию согласно стандарту ИСО 15711 (метод А) (см. 2.5.6), мм	Менее 5 после 3 мес. испытаний, менее 8 после 6 мес. испытаний	Менее 5 после 3 мес. испытаний, менее 10 после 6 мес. испытаний
Краевой угол смачивания (см. 2.5.7),...°	Более 90	Более 90
Совместимость с катодной защитой (методика производителя)	Совместимо	Совместимо

Примечание. Испытания выполняются в соответствии с 2.5 по согласованной с Регистром программе.

сения вышеупомянутых покрытий освоена на многих предприятиях отрасли: Адмиралтейском ССЗ, Балтийском ССЗ¹, Мурманском СРЗ, Славянском ССЗ, Канонерском СРЗ и ряде других.

Отечественная ледостойкая эмаль ЭП-437 показала более низкие технологические и защитные свойства по сравнению с вышеуказанными импортными.

Также не менее актуальной, чем защита корпуса, для полярных судов остается защита от коррозии балластных танков, которая должна выполняться в соответствии с Резолюцией ИМО MSC 215(82) и MSC 216(82) [7].

Во исполнение Резолюции ИМО MSC 215(82) разработан «Стандарт качества защитных покрытий для балластных танков забортовой воды всех типов судов и пространств двойных бортов навалочных судов». С 1 января 2009 г. применение Стандарта стало обязательным для всех судов с закладкой килля после этой даты, а с 1 июня 2012 г. — для всех судов, строящихся после этой даты.

Установленные в Стандарте требования к выбору покрытия, подготовке поверхности, инспектированию дают уверенность судовладельцу, что инвестирование будет оправдано. В Стандарте предпочтение отдается эпоксидным покрытиям, которые доказали свою эффективность в балластных танках на тысячах судов мирового флота. Срок службы эпоксидных покрытий составляет 15 лет.

Защита от коррозии балластных танков на старых полярных судах по-прежнему стоит очень остро. В условиях судоремонта произвести качественную очистку поверхности до «белого» металла бывает очень трудоемко и дорого. Поэтому предпочтение следует отдать модифицированным эпоксидным покрытиям, так называемым «mastic». Эти покрытия можно наносить по остаточным продуктам коррозии.

Покрытия Balloxy HB, JOTA-COTE UNIVERSAL (фирма JOTUN), INTERSHIELD 803 (фирма Akzo-Nobel) и ряд других имеют одобрение РС в качестве покрытий балластных танков.

¹ Имеются в виду Адмиралтейские верфи и Балтийский завод (прим. ред.)

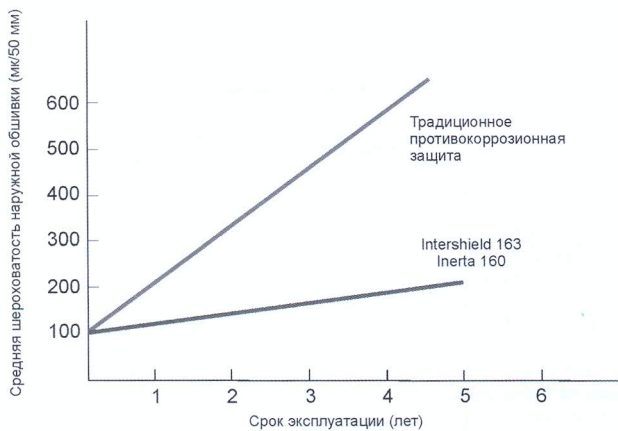


Рис. 2. Коэффициент трения

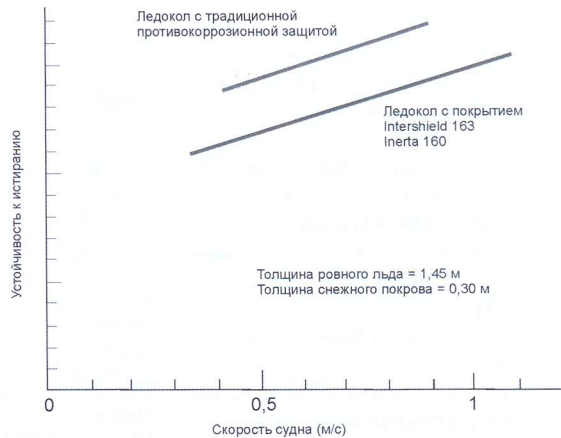


Рис. 3. Сравнение эксплуатационных характеристик

В настоящее время выполняются исследования с рядом отечественных производителей на базе ФГУП КМ «Прометей».

Эффективная защита от коррозии балластных танков на полярных судах исключает попадание в воду ржавчины при сбрасывании с судов балластных вод и обеспечивает выполнение требований Международной Конвенции (BWM) 2004.

На полярных судах при выборе покрытий надводных поверхностей также требуется учитывать требования агрессивной среды. Существует ошибочное представление о том, что воздействие солнечных лучей вызывает разрушение покрытий в условиях жаркого, а не холодного климата. Однако качество покрытия быстро разрушается под воздействием УФ-излучений в сочетании с влажным воздухом. Холодная солнечная погода также оказывает чрезвычайно плохое воздействие на покрытие.

На полярных судах для защиты надводных поверхностей эффективными являются полиуретановые и полисилоксановые покрытия, облада-

ющие высокой свето- и цветостойкостью. Однако силоксановые покрытия очень дороги, поэтому их применение ограничено.

На морских судах и платформах широко применяется полиуретановое покрытие HARDTOP FLEXY (фирма JOTUN).

Отечественные производители, такие как ООО «Разноцвет», ОАО «ВМП», ОАО «Кронос-СПб», широко применяют полиуретановые покрытия при окрашивании наружных поверхностей резервуаров в различных климатических зонах, в том числе на Севере. Они могут быть конкурентоспособными, по сравнению с импортными, на полярных судах, но требуют проведения дополнительных исследований.

Контроль обрастания полярных судов часто не привлекает должного внимания из-за широко распространенного мнения, что опасность обрастания в холодной воде или во льдах так низка, что защита не требуется. Однако практика подтверждает обратное. Исследованиями, проведенными в Баренцевом море,

установлена достаточно высокая интенсивность обрастания судов, что снижает их энергоэффективность. В результате в Арктике, в экологически чистой среде повышаются выбросы в атмосферу вредных веществ, а также усиливается миграция некоторых видов морских животных. Для полярных судов в соответствии с Полярным Кодексом должны применяться покрытия в соответствии с AFS-конвенцией [8].

Заключение. Высококачественные эффективные защитные покрытия позволяют поддерживать полярные суда в хорошем техническом состоянии, снижают сопротивление трения во льдах, способствуют сохранению энергоэффективности.

Защита полярных судов от коррозии высококачественными покрытиями создает образ профессиональной ответственности и надежной судоходной компании.

Литература

1. Правила классификации и постройки морских судов. Ч. II. Корпус. СПб. Российский морской регистр судоходства, 2015.
2. Правила классификации и постройки морских судов. Часть XVII Дополнительные знаки символа класса и словесные характеристики, определяющие конструктивные или эксплуатационные особенности судна. СПб. Российский морской регистр судоходства, 2015.
3. Intershield® 163 Inerta® 160 Abrasion Resistant Low Friction Ice Coating : брошюра [Электронный ресурс]/Akzo Nobele, 2005. Режим доступа: <http://www.international-marine.com/Literature/Intershield.163.Inerta.160.pdf>.
4. Правила технического наблюдения за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий для судов. Часть III. Техническое наблюдение за изготовлением материалов. СПб. Российский морской регистр судоходства, 2015 г.
5. Стандарт ИСО 8501 — 1:2007.
6. Полярный Кодекс ИМО.
7. Резолюция ИМО 215 (82) и 216 (82).
8. Международная конвенция о контроле за вредными противобрастающими системами на судах (AFS), 2001.

Таблица 5

Технические характеристики покрытия Intershield 163/Inerta 160, Marathon IQ, Ecospeed			
Наименование показателей	Intershield 163/Inerta 160	Marathon IQ	Ecospeed
Цвет	Красный, черный, ограниченный спектр		Светлосерый, желтоватобелый, черный и др. по RAL
Содержание твердого вещества (сухой остаток), %	95 ± 2	98 ± 2	98
Толщина сухой пленки, мкм	500	500	500
Теоретическая кроющая способность, м ² /л	1,9 при толщине сухой пленки 500 мкм	2,0	н/д
Время сушки до полного высыхания, ч	48	48	48
Метод нанесения	Безвоздушное распыление специальными аппаратами		Безвоздушное распыление