

УДК 656.6:620.193;656.6:620.197

**ЛЕДОСТОЙКИЕ СИСТЕМЫ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ****Никита Васильевич Данилов**

студент

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

190121, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 3

e-mail: dnv95@list.ru

**Элеонора Владимировна Соминская**

Кандидат технических наук, заведующий сектором защиты от коррозии судов и портовых сооружений

Центральный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт морского флота

191015 Санкт-Петербург, Кавалергардская ул., 6

e-mail: moffice@cniimf.ru

**Валерий Иванович Трусов**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой химии,

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

190121, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 3

e-mail: vtrui2008@mail.ru

**Аннотация**

Известно, что суда ледового плавания испытывают повышенный износ корпуса. Применение специальных ледостойких покрытий уменьшает износ корпуса судна и увеличивает срок службы без ремонта. Проведен анализ опыта применения ледостойких покрытий на атомных ледоколах. Показано, что ледостойкие эпоксидные покрытия Inerta 160 и Marathon IQ только частично решают проблему обеспечения гладкого корпуса атомных ледоколов. Для поддержания спецификационной ледопробиваемости эти суда необходимо ежегодно выводить из эксплуатации для постановки в док. Представлено ледостойкое покрытие нового поколения Ecospeed компании Subsea Industries (Бельгия) с опытом применения в Антарктиде, Арктике и на Балтике. Ecospeed - абразивостойкое 2-х компонентное покрытие особой прочности на основе винилэфирной смолы в стироле, армированной стеклянными чешуйками. Защитный барьер образуется примерно из 300 слоёв стеклянных пластинок, расположенных внутри вяжущей смоляной основы параллельно поверхности нанесения, применение которого гарантирует защиту от коррозии и износа во льдах в течение 10 лет. Покрытие явилось бы экономичным вариантом, например, для буровых судов и других докуемых объектов.

**Ключевые слова:** Ледостойкое покрытие, износ, технологические особенности нанесения, критерии выбора, коэффициент трения, защита от коррозии, атомный ледокол, ледопробиваемость.

**ICE RESISTANT ANTI-ROSE PROTECTION SYSTEMS****Danilov Nikita Vasilevich**

Master's degree student

Saint-Petersburg Marine State University

St. Petersburg State Marine Technical University 190121, St. Petersburg, ul. Lotsmanskaya, 3

e-mail: dnv95@list.ru

**Eleonora V. Sominskaya,**

Candidate of Technical Sciences, head of the sector of corrosion protection of ships and port facilities,

Central Research and Development Institute of the Navy.

191015 St. Petersburg, Kavalergardskaya Str., 6

e-mail: moffice@cniimf.ru

**Valery I. Trusov**

the professor, Dr.Sci.Tech.,

the professor of department of Chemistry

State marine technical university of Saint-Petersburg

Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190008, Russian Federation

e-mail: vtrui2008@mail.ru

**Abstract**

It is known that icebreaking vessels experience increased hull wear. The use of special ice-resistant coatings reduces wear of the hull of the vessel and increases the service life without repair. The analysis of the experience of using ice-resistant coatings on atomic icebreakers. It has been shown that ice-resistant epoxy coatings Inerta 160 and Marathon IQ only partially solve the problem of providing a smooth body of atomic icebreakers. To maintain the specification icebreaking capacity, these vessels must be decommissioned annually for docking. Presented ice-resistant coating of a new generation of Ecospeed company Subsea Industries (Belgium) with experience of use in Antarctica, the Arctic and the Baltic. Ecospeed is an abrasion-resistant, 2-component coating of special strength based on vinyl ester resin in glass-reinforced styrene. A protective barrier is formed of about 300 layers of glass plates arranged inside the bonding resin base parallel to the application surface, the use of which guarantees

protection against corrosion and wear in ice for 10 years. Coverage would be an economical option, for example, for drilling ships and other documented objects.

Keywords: Ice-resistant coating, wear, technological features of the application, selection criteria, friction coefficient, corrosion protection, nuclear-powered icebreaker, ice permeability.

### Введение

С начала ввода в эксплуатацию атомного ледокола «Арктика» (август 1977), головного из серии проекта 1052, возникла и с каждым годом обострялась проблема коррозионно-эрозионных разрушений подводной поверхности корпуса типа «терки», приводящих к снижению на 20-30% ледопроеходимости, к увеличению расхода топлива, снижению скорости проводки судов с резкими остановками ледокола вследствие облипания корпуса снежно-ледяной массой [1].

Традиционные покрытия разрушались в течение первых недель, а иногда дней эксплуатации во льдах, и затраты на покрытия оказывались бесполезными. Проектанты предпочитали увеличивать толщины наружной обшивки с учётом коррозии и износа («коррозионный запас» или «надбавка на коррозию»).

### 1. Ледостойкие покрытия

Первое ледостойкое покрытие было разработано финской фирмой Teknos Maalite в 1973 году и названо Inerta 160. Впервые были разработаны требования к ледостойким покрытиям, методики испытаний, установлены критерии оценки защитной способности ледостойких покрытий. Ключевыми требованиями, предъявляемыми к ледостойким покрытиям, являлись надёжная защита от коррозии и низкое трение [2,3].

Inerta 160 явилось первым в мире ледостойким покрытием, получившим признание классификационного общества Lloyd's Register. Для применения покрытия была разработана технология подготовки поверхности, технология нанесения и отверждения покрытия перед погружением в воду. До настоящего времени Inerta 160 остаётся наиболее широко используемым ледостойким покрытием, а до середины 90-х годов - единственным ледостойким покрытием, способным обеспечить защиту от коррозии и износа атомных ледоколов. Покрытие сертифицировано Российским морским регистром судоходства (РС).

В 1995 году фирма JOTUNPAINTS (Норвегия) предложила применять ледостойкое покрытие Marathon IQ. Покрытие было сертифицировано РС в качестве ледостойкого покрытия. В дальнейшем производитель улучшил данное покрытие, добавив в основу стеклянные чешуйки. Покрытие получило название Marathon IQ GF (glassflake). Введение в эпоксидную смолу стеклянных чешуек повысило стойкость покрытия к износу.

Высокая защитная способность покрытия Marathon IQ была установлена на полярных судах Северного и Сахалинского морских пароходств. На ледоколе «Авраамий Завенягин» проверяли возможность нанесения двух слоёв покрытия Marathon IQ с целью повышения его защитной способности. В результате докового осмотра было

установлено, что при нанесении второго слоя отсутствует межслойная адгезия, поэтому покрытие Marathon IQ следует наносить лишь в 1 слой при толщине 500 мкм сухой плёнки.

По предложению компании JOTUN проведена сравнительная оценка защитной способности эпоксидных покрытий Inerta 160 и Marathon IQ на атомном ледоколе «Вайгач», показавшая сопоставимые результаты.

В 2016-2017 гг. РС сертифицировал еще два эпоксидных покрытия фирмы PPGCoatings SPRL/BVBA (Sigmashield 460 (LT) и Sigmashield 1200) и несколько эпоксидных покрытий фирмы Hempel, но эти покрытия не имеют практического опыта применения на российских ледоколах.

При выборе ледостойкого покрытия важным фактором являются его технологические особенности. При нанесении некоторых ледостойких покрытий должно использоваться оборудование горячего безвоздушного распыления (Inerta 160 и Marathon IQ). Другие покрытия могут применяться при нормальных условиях окружающей среды с использованием обычного оборудования безвоздушного распыления (Sigmashield 460 и Sigmashield 1200).

При выборе ледостойкого покрытия необходимо учитывать:

- смоляная составляющая (основа) после отверждения покрытия не должна утрачивать эластичность и сохранять высокие адгезионные характеристики;

- стеклянные пластинки, входящие в покрытие, должны иметь большое относительное удлинение (тип С или ECR). Содержание стеклянных чешуек должно быть как можно выше в пределах сохранения гибкости и вязкости покрытия. Лучшие покрытия содержат ряд добавок для улучшения сцепления и других свойств;

- покрытие должно обладать низким коэффициентом трения со льдом и таким оставаться в течение срока службы покрытия до его полной замены;

- толщина сухой плёнки (DFT) должна быть не менее 1000 микрон для достижения высокой ударной прочности, улучшенной противокоррозионной защиты и продолжительной эксплуатации;

- покрытие не должно быть токсичным;

- покрытие должно наноситься аппаратами безвоздушного распыления при нормальных условиях внешней среды;

- покрытие требует надлежащей подготовки поверхности перед нанесением, которая включает как минимум абразивно-струйную очистку до степени Sa 2 ½ и шероховатостью менее 75 микрон.

К сожалению, как уже отмечалось, ледовые качества судов в процессе эксплуатации быстро снижаются. Основной причиной, характеризующей ухудшение их ледовой ходкости, является уровень

шероховатости наружной обшивки корпуса и, соответственно, коэффициент трения о лёд.

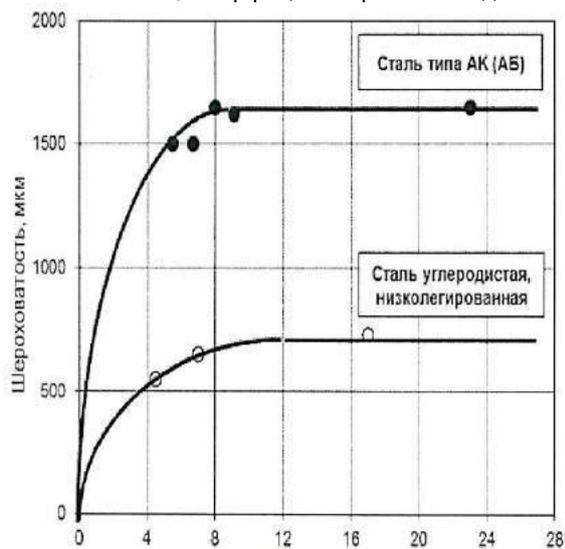


Рис. 1. Зависимость шероховатости от срока эксплуатации (годы) и материала наружной обшивки корпуса

В подводной части корпуса шероховатость обшивки, выполненной из стали АБ, возрастает в течение 8-10 лет эксплуатации более чем в 10 раз. В дальнейшем степень шероховатости (глубина язв) стабилизируется, оставаясь практически на прежнем уровне. Для наружной обшивки из углеродных низколегированных сталей шероховатость растёт в течение 11-13 лет и стабилизируется на более низком уровне, чем для высокопрочных хладостойких сталей. На рисунке 1 представлена зависимость шероховатости от срока эксплуатации и материала наружной обшивки корпуса [2].

Применение ледостойких покрытий Inerta 160 и Marathon IQ только частично решают проблему обеспечения гладкого корпуса атомных ледоколов. Для поддержания спецификационной ледопроеходимости атомные ледоколы необходимо ежегодно выводить из эксплуатации для постановки в док, выполнять абразивную очистку поверхности и покраску. Выполнение этих работ требует специального температурного режима, что в условиях Мурманска связано с дополнительными трудностями. В то же время любые работы по точечному восстановлению покрытия длительны, трудоемки, связаны с дополнительным применением шпатлевочных материалов и только усугубляют проблему. Возможности лакокрасочных материалов на эпоксидной основе исчерпаны, та же участь постигла и металлические покрытия газотермического нанесения, срок их службы во льдах составляет всего 3-4 месяца при исходной толщине 300-400 мкм [1].

Необходимость обеспечения круглогодичной эксплуатации Северного морского пути привели к поиску новых ледостойких покрытий, обладающих более высокой долговечностью во льдах.

С этой целью нами выполнен экспертный анализ технических характеристик и результатов эксплуатационных испытаний нового покрытия Ecospeed компании Subsea Industries (Бельгия).

Техническая информация о покрытии Ecospeed с опытом применения в Антарктиде, Арктике и на Балтике представлена в [3-5].

Ecospeed - абразивостойкое 2-х компонентное покрытие особой прочностью на основе винилэфирной смолы в стироле, армированной стеклянными чешуйками.

Защитный барьер образуется примерно из 300 слоёв стеклянных пластинок, расположенных внутри вяжущей смоляной основы параллельно поверхности нанесения. Таким образом, Ecospeed обладает выраженным барьерным эффектом (эффект лабиринта) и блокирует диффузию молекул кислорода и воды к металлу корпуса. Испытания на стойкость в камере соляного тумана в течение 20000 часов не выявили изменений покрытия. Оно имеет исключительно высокую твёрдость, механическую прочность, стойкость к истиранию, стойкость к ударным нагрузкам, обладает высокой эластичностью вплоть до точки деформации стали. Важно отметить изменение типа пленкообразователя материала – отказ от эпоксидной смолы с заменой на винилэфирную основу. Сертифицировано Регистром Ллойда в качестве абразивостойкого покрытия для ледоколов и соответствует требованиям Полярного кодекса. Шероховатость составляет 20 мкм. Допускает нанесение без подогрева аппаратами БВР в два слоя по 500 мкм без ухудшения межслойной адгезии. Тестирование покрытия на адгезию к подложке, подверженной абразивной очистке, дало результат до 18 МПа. Благодаря технологичности и простоте использования ледостойкое покрытие Ecospeed применяется на верфях Дании, Швеции, Литвы, Польши и ряда других стран (см. рис.2).



Рис. 2. Состояние корпуса ледокола, окрашенного обычными ледостойкими покрытиями через год эксплуатации в Антарктиде (слева). Состояние корпуса того же ледокола через 4 года эксплуатации в Антарктиде после нанесения Ecospeed (справа).

Первая опытная апробация покрытия Ecospeed в России была выполнена на атомном ледоколе «ЯМАЛ» в июле 2018 года во время докового ремонта на Мурманском судоремонтном заводе. Нанесение покрытия Ecospeed проводили в районе кормовой части судна (шпангоуты 132-142 Пр.Б). Ледовые нагрузки в этом районе ниже, чем в носовой части, однако дополнительным испытанием для покрытия являются высокие гидродинамические воздействия от гребного винта. При выполнении опытной окраски проверялась возможность нанесения покрытия Ecospeed стандартным оборудованием безвоздушного распыления без подогрева компонентов, отработывалась технология подготовки поверхности перед нанесением покрытия, определялись технологические параметры по срокам сушки, устанавливались режимы отверждения покрытия Ecospeed. При последующем доковом ремонте предполагается установить эффективность применения покрытия Ecospeed по сравнению с эпоксидными ледостойкими покрытиями. Выполнение работ согласовано с РМРС.

### Заключение

Применение сертифицированных ледостойких покрытий на эпоксидной основе требует ежегодного докования ледокола для возобновления покрытий. Ecospeed является сертифицированным ледостойким покрытием с большим сроком службы. Гарантируется сохранность покрытия в течение не менее 10 лет. Ожидаемый срок защиты от коррозии и износа составляет 25 лет.

Конечно, для недокуемых объектов морской техники, эксплуатируемой в Арктике безальтернативным вариантом надежной защиты на 25 лет и более является применение в зоне ледового пояса плакирующего слоя из нержавеющей стали в сочетании с катодной электрохимической защитой с ледостойкими анодами, но это значительно более дорогая защита, оправданная только в случае защищаемой поверхности более 1000 м<sup>2</sup>. Покрытие Ecospeed явилось бы экономичным вариантом, например, для буровых судов и других докуемых объектов.

### Литература

1. Кузьмин Ю.Л., Орыщенко А.С. Коррозия и электрохимическая защита морских судов// АНО ЛА «Профессионал». Санкт-Петербург. 2017. 288С.
2. Иерусалимский А.В., Свистунов Б.Н. Влияние шероховатости стальной поверхности на коэффициент динамического трения по льду.//Архитектурно-конструктивный тип, мореходные и ледовые качества перспективных судов. Сб.научн.трудов ЦНИИМФ –Л.: Транспорт, 1984. С.90-96.
3. Официальный сайт компании Hydrex. URL: [www.hydrex.be](http://www.hydrex.be) (дата обращения 17.08.2018)
4. Boud Van Rompay. «Surface Treated Composites. White Book».ТАНОКАПРЕСС, 2012. 243-262 p.URL: <https://boudvanrompay.com/en/author/category/2/books>(дата обращения 17.08.2018)
5. Boud Van Rompay. «Surface Treated Composites. White Book».ТАНОКАПРЕСС, 2012. 243-262 p.

### References

1. Kuzmin Yu.L., Oryshchenko A.S. Corrosion and electrochemical protection of marine vessels ANO LA "Professional". St. Petersburg. 2017. 288C.
2. Jerusalem A.V., Svistunov B.N. The influence of roughness on the coefficient of probability of dynamic impact on ice. Architectural and constructive type, seaworthy and ice qualities of promising ships. Sb.nauchn.trudov TSNII MF L.: Transport, 1984. P.90-96.
3. Official site of Hydrex. URL: [www.hydrex.be](http://www.hydrex.be) (request date 17.08.2018)
4. Boud Van Rompay. "Surface-treated composites. The White Book. ".HOKAPRESS, 2012. 243-262 p.URL: <https://boudvanrompay.com/en/author/category/2/books>( appeal date 08.17.2018)
5. Boud van Rompay. "Surface-treated composites. White Book. "TACHOCAPRESS, 2012. 243-262 p.