

2. Egorov, I. T., M. M. Bunkov, and Ju. M. Sadovnikov. *Hodkost i morehodnost glissirujushhih sudov*. L.: Sudostroenie, 1978.
3. Savitsky, D. "Hydrodynamic Design of Planing Hulls." *Marine Technology* 1 (1964).
4. Nazarov, A. "On Application of Parametric Method for Design of Planing Craft." *3rd Chesapeake Power Boat Symposium*. USA, 2012: 102.
5. Vaganov, A. M. *Proektirovanie skorostnyh sudov*. L.: Sudostroenie, 1978.
6. Kolmogorov, A. N. "O predstavlenii nepreryvnyh funkcij neskol'kih peremennyh superpozicijami funkcij men'shego chisla peremennyh." *Doklady Akademii nauk SSSR* 108 (1956): 179-182.
7. Arnold, V. I. "O funkcijah treh peremennyh." *Doklady Akademii nauk SSSR* 114.4 (1957): 679-681.
8. Kolmogorov, A. N. "O predstavlenii nepreryvnyh funkcij neskol'kih peremennyh v vide superpozicij nepreryvnyh funkcij odnogo peremennogo i slozhenija." *Doklady Akademii nauk SSSR* 114 (1957): 953-956.
9. Loran, P.-Zh. *Approksimacija i optimizacija*. M.: Mir, 1975.
10. Fratsev, M. Je. "Project study of optimum combinations of characteristics of weight, capacity and speed for high-speed ships from composites with analysis methods of databases." *Science and Technology in Transport* 3 (2010): 53-59.
11. Frantsev, M. Je. "The project's analysis of different forms of the equation, «power-propulsion» during the drafting of high-speed vessel from composites." *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dalnego Vostoka* 1 (2012): 220-224.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Францев Михаил Эрнстович —
 кандидат технических наук.
 Инжиниринговая компания «Нептун-Судомонтаж»
gepard629@yandex.ru
Францев Илья Михайлович — инженер.
 Инжиниринговая компания «Нептун-Судомонтаж»
ilya.frantsev@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Frantsev Michail —
 Candidate of Engineering.
 JSC Neptun-Sudomontazh
gepard629@yandex.ru
Frantsev Ilya — engineer.
 JSC Neptun-Sudomontazh
ilya.frantsev@gmail.com

Статья поступила в редакцию 11 сентября 2015 г.

УДК 620.197:629.12(4)

И. И. Рублёв

**РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ,
 ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОРРОЗИОННОЙ
 УСТОЙЧИВОСТИ КОРПУСОВ МОРСКИХ СУДОВ**

Разработана экологически безопасная рецептура защитного покрытия металлических корпусов морских судов, предназначенная для снижения скорости коррозии. Предложенное техническое решение позволяет, с одной стороны, повысить срок действия материала корпусов судов, а с другой — снизить интенсивность загрязнения морской среды соединениями тяжёлых металлов. Последнее отвечает требованиям судоходных морских регистров ведущих морских держав в части исключения соединений тяжёлых металлов из композиций защитных наполнителей и лакокрасочных покрытий. В качестве объекта исследования выбрана углеродистая прокатная листовая сталь марки СТ-20. Покрытие стальных образцов осуществлялось стандартными и экспериментальными наполнителями. Исследования препарированных образцов осуществлялись на воздухе, в морской среде длительное время, при различных температурах, рН-средах и относительной влажности атмосферного воздуха. Приняты следующие методы исследования: определение скорости коррозии стальных образцов — весовой метод, поверхность образцов исследовалась с помощью микроскопа, рН-метрия отработанной морской среды. Одним из наиболее сложных вопросов при разработке композиций наполнителей был вопрос измельчения компонентов защитного наполнителя с определённой дисперсностью. Предложен метод объемного взрыва для разрушения исходных материалов до пылеобразных частичек заданной дисперсности.

В результате длительных испытаний в морской среде скорость коррозии металлических поверхностей, покрытых разработанным новым экологически безопасным наполнителем, ниже, чем металлических поверхностей, покрытых алкидными составами.

Ключевые слова: электрохимические процессы, морская среда, фракция, дисперсность, локальная и общая коррозия металлов, эластомер, диспергент.

Введение

В настоящее время используются такие способы защиты металла как легирование, ингибиторная электрохимическая защита, защитные покрытия. Лакокрасочные покрытия часто используют в сочетании с протекторной или катодной защитой [1]. Для повышения коррозионной стойкости судовых конструкций, выполненных из стали, ее легируют хромом, никелем, титаном, молибденом. Коррозионная стойкость хромоникелевой нержавеющей стали в морской воде достигается только при содержании в ней 17 – 19 % хрома и 8 – 10 % никеля, из-за чего значительно повышается стоимость металла. Следует учитывать, что нержавеющая сталь, являясь коррозионностойкой в морской воде, в то же время склонна к язвенной коррозии и требует дополнительных затрат на электрохимическую защиту.

Актуальность исследования

Из-за высокой стоимости легированных сталей, титановых сплавов и сложной технологии применения доля их в судостроении незначительна. Более широко в морском судостроении используется медь и ее сплавы, которые применяются для деталей судовых механизмов, эксплуатирующихся в морской среде без специальных средств защиты от коррозии. К преимуществу медных сплавов следует отнести то, что они меньше подвержены обрастанию морскими организмами. Однако их применение ограничивается дефицитностью меди и ее стоимостью [2].

Постановка задачи

Разработать защитный наполнитель для повышения коррозионной устойчивости металлических корпусов судов, эксплуатирующихся в «жестких» морских условиях. Минимизировать влияние внешних факторов окружающей среды, которые содержат в себе опасность потери прочности корпуса судна в сложных гидрометеорологических условиях, вследствие развития аварийных ситуаций, экологических катастроф. Из всех видов защитных покрытий в судостроении наибольшее распространение получили лакокрасочные, чему способствуют сравнительно низкая их стоимость и простота нанесения. Лакокрасочные материалы представляют собой многокомпонентные системы, способные при нанесении на защищаемую поверхность высыхать с образованием пленок, удерживаемых силами Ван-дер-Ваальса. Эта пленка не только защищает металл от внешней среды, но и препятствует образованию гальванических пар на поверхности металла.

По сравнению с лакокрасочными металлические покрытия обладают большей механической прочностью, но из-за сложности нанесения покрытия стоимость их приготовления высока. Металлические защитные покрытия наносят гальваническим, химическим и термическим способами. В судостроении наиболее широко используются оцинкованные материалы.

Силикаты и алкоксиланы находят широкое применение в рецептурах грунтовок для разнообразных металлических и кремнистых субстратов. Широко применяются в качестве усилителей адгезии грунтовки на основе алкоксиланов с регулируемой гидрофобностью, достаточной стойкостью к УФ-облучению, термостойкостью, поверхностной активностью, стабильностью к воздействию химических соединений. Интересным представляется использование силиконовых технологий для замены грунтовок, содержащих цинк и хром [3], [4]. Покрытие должно обладать достаточным сроком службы при междоковом периоде эксплуатации [5].

Методика эксперимента [5]. Перед экспериментами поверхность металлических образцов тщательно очищалась, обезжиривалась растворителями и покрывалась гомогенной смесью, включающей сырую резину и новый наполнитель (без соединений тяжелых металлов) в соотношении 1:1 (масс.). Покрытие проводилось в три слоя с выдержкой на просушку. Второй образец был очищен, обезжирен и покрыт гомогенной смесью, включающей сырую резину и наполнитель в соотношении 1:1 (масс.), и после просушки покрыт алкидной эмалью. Стандартный образец готовился согласно методике, описанной в работе [5]. Исследование образцов проводилось на воздухе при температуре 21 °С в течение трёх недель, в морской воде при температуре 4 – 46 °С в течение двух месяцев.

Результаты исследований образцов в виде микрофотографий, скорость коррозии экспериментальных и стандартных образцов приведены в работах [5], [6], [8], [9]. Скорость коррозии определялась по формуле

$$r = \frac{\Delta m}{S \cdot \tau}, \frac{\text{г}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}, \quad (1)$$

где Δm — изменение массы образцов за время испытаний, г; S — площадь поверхности образцов, м^2 ; τ — время исследований, ч.

В результате анализа микрофотографий образцов следует отметить, что после всего цикла испытаний на поверхности стандартного образца появляются макротрещины, что приводит к развитию коррозионных процессов, а поверхность экспериментального образца монолитна, без повреждений, что свидетельствует о достаточной эластичности защитного экспериментального покрытия.

В результате исследований [5] – [8] было обращено внимание на то, что используемые методы измельчения исходных материалов не обеспечивали их необходимую дисперсность. С целью устранения этого недостатка был предложен метод объемного взрыва исходных пористых материалов. Суть процесса — фрагменты материалов загружаются в замкнутую ёмкость и заполняются парами легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) на определённое время. При этом материал заполняется парами ЛВЖ, включая макро-, микро- и мезопоры. При генерировании разряда пары ЛВЖ с воздухом в диапазоне от нижнего до верхнего пределов воспламенения взрываются, что приводит к резкому повышению давления в порах материала и, как следствие, к его внутреннему разрушению и измельчению.

Создана установка, которая предназначена для измельчения исходных компонентов для последующего приготовления защитного наполнителя (рис. 1). В рабочей камере 3 размещались фрагменты исходных компонентов защитного покрытия. После этого камера заполнялась расчётным количеством легковоспламеняющейся жидкости (в данном случае ацетон), для испарения её и создания взрывоопасной паровоздушной смеси. Соблюдая меры предосторожности на безопасном расстоянии, запускался генератор, искра инициировала горючую смесь в камере 3, взрывная волна распространялась во фрагменты исходных материалов, подвергая их разрушению вплоть до мелкодисперсного состояния. Для предотвращения разрыва рабочей камеры 3 из-за повышения давления, в камере 5 изготовлено технологическое отверстие 1, которое до момента взрыва плотно закрыто предохранительной мембраной. Проходя сито 7, измельченный материал выгружался через колосниковую решетку 6.

В процессе эксплуатации подводная часть судна подвержена биообрастанию, что приводит к следующим отрицательным факторам [9] – [10]:

- повышению сопротивления движению судна;
- снижению скорости судна на 5 – 10 %;
- повышению расхода топлива на 10 – 15 %;
- нарушению остойчивости судна из-за нерегулярности процесса биообрастания;
- повышению эксплуатационных и финансовых расходов на трудоёмкую процедуру обработки корпусов судов.

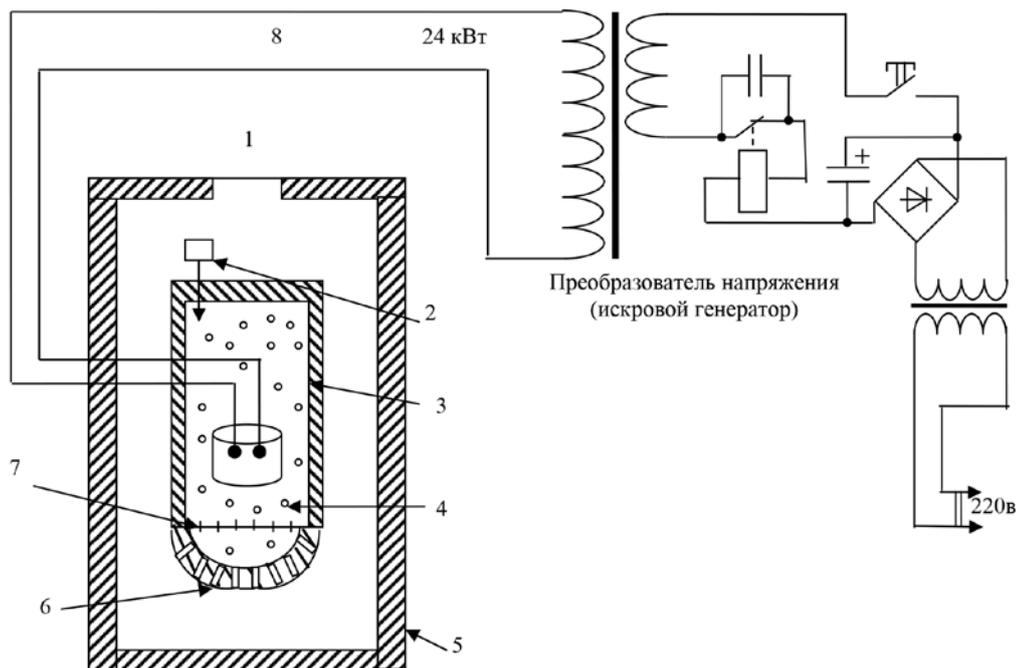


Рис. 1. Установка для измельчения компонентов защитного покрытия:

- 1 — предохранительная мембрана; 2 — капсула с легковоспламеняющейся жидкостью;
3 — рабочая камера взрыва; 4 — исходные материалы наполнителя;
5 — защитная камера; 6 — колосниковая решетка для выгрузки измельченного материала;
7 — сито; 8 — высоковольтные провода

Помимо указанных отрицательных факторов биообрастания корпусов судов следует отметить интенсификацию процессов коррозии металлических поверхностей корпусов судов под слоем продуктов биообрастания. Это необходимо учитывать, либо создавать условия для ингибирования процессов биообрастания.

Выводы

1. Проведён анализ защитных покрытий корпусов морских судов, предназначенных для снижения скорости коррозии металлических поверхностей. Вследствие деформационных напряжений поверхностного покрытия, обусловленных изменением температуры морской среды, защитное покрытие разрушается, появляются трещины, что инициирует развитие электрохимических процессов металлических поверхностей, их коррозию и, как следствие, загрязнение морской среды соединениями тяжелых металлов.

2. Для исключения отмеченных недостатков стандартных защитных покрытий корпусов судов разработаны новые наполнители для создания защитных покрытий корпусов судов, не содержащих в своём составе соединений тяжелых металлов, запрещенных национальными морскими регистрами судоходства, Резолюциями Международной морской организации.

3. Разработана методика получения новых защитных покрытий.

4. Проведены длительные испытания образцов металлов, покрытых защитным слоем на воздухе, в морской среде, имитирующей состав и гидрометеорологические условия Средиземного и Чёрного морей.

5. Установлено, что скорость коррозии металлических корпусов судов, покрытых новыми защитными наполнителями, в два-пять раз ниже по сравнению со стандартными образцами.

6. Техничко-экономические показатели нового защитного покрытия выгодно отличаются от стандартного, поскольку его производство базируется на использовании материальных отходов, не содержащих соединений тяжелых металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Majmude A.* Microfluidic Adhesion Induced by Subsurface Microstructures / A. Majmude, A. Ghatak, A. Sharma // *Science*. — 2007. — Т. 318. — № 5848. — Pp. 258–261.
2. *Huang Y. Y.* Stamp Collapse in Soft Lithography / Y. Y. Huang, W. Zhou, K. J. Hsia, E. Menard, J. U. Park, J. A. Rogers, A. G. Alleyne // *Langmuir*. — 2005. — Т. 21. — № 17. — Pp. 8058–8068. DOI:10.1021/la0502185.
3. *Pocius A. V.* Adhesion and adhesives technology: an introduction / A. V. Pocius. — Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2012.
4. *Леонов В. Е.* Основы экологии и охрана окружающей среды / В. Е. Леонов, В. Ф. Ходаковский, Л. Б. Куликова. — Херсон: ХГМИ, 2010. — 351 с.
5. *Леонов В. Е.* Исследование коррозионной устойчивости металлических корпусов судов, обработанных эффективным наполнителем / В. Е. Леонов, И. И. Рублёв // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2014. — № 3 (25). — С. 99–104.
6. *Леонов В. Е.* Методика исследования и разработки стойких экологически безопасных покрытий корпусов судов / В. Е. Леонов, И. И. Рублёв // *Современные энергетические установки на транспорте и технологии и оборудование для их использования: сб. тр. конф.* — Херсон: ХГМА, 2012. — С. 87–91.
7. *Леонов В. Е.* Исследование и разработка стойких экологически безопасных покрытий корпусов судов / В. Е. Леонов, И. И. Рублёв // *Материалы межд. науч.-практ. конф. «Фундаментальные и прикладные науки сегодня»*. — М., 2013. — С. 197–199.
8. *Леонов В. Е.* Исследование стабильности действия защитного покрытия на скорость коррозии металлических поверхностей корпусов судов / В. Е. Леонов, И. И. Рублёв // *Современные энергетические установки на транспорте и технологии и оборудование для их использования: сб. тр. конф.* — Херсон: ХГМИ, 2014. — С. 193–197.
9. Обеспечение безопасности плавания судов и предотвращение загрязнения окружающей среды / В. И. Дмитриев, В. Е. Леонов, П. Г. Химич, В. Ф. Ходаковский, Л. Б. Куликова. — Херсон: ХГМА, 2012. — 399 с.
10. *Леонов В. Е.* Механизм действия защитного покрытия корпусов судов в условиях штатного рейса / В. Е. Леонов, И. И. Рублёв // *XI Межд. конф. «Стратегия качества в промышленности и образовании»: сб. тр. конф.* — Болгария – Варна: Технический университет, 2015. — С. 82–86.

DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTALLY SOUND FILLERS, DESIGNED TO IMPROVE THE CORROSION RESISTANCE OF SHIP HULLS

Developed environmentally friendly formulation of the protective coating of metal hulls of ships designed to reduce the rate of corrosion. The proposed solution will allow one hand to increase the term of the metal hulls of ships and on the other - to reduce the intensity of marine pollution, heavy metal compounds. As the object of study selected carbon steel plate mill brand ST-20. The coating of steel samples by standard and experimental fillings. Studies of the prepared samples was carried out in air, in a marine environment for a long time at various temperatures, pH - temperature and relative atmospheric humidity. The following research methods - Determination of corrosion rate of steel specimens - gravimetric method, the surface of the samples was studied using a microscope, pH - meters of waste marine environment. One of the most difficult issues in the development of the compositions of fillers was a matter of grinding components with a certain protective filler dispersion. A method for the destruction of the bulk of the explosion of raw materials to the dispersion of dust particles of a given

As a result, long-term tests in a marine environment, the rate of corrosion of metal surfaces coated developed a new environmentally friendly vehicle, is lower than with a metal surface coated with alkyd formulations.

Keywords: electrochemical processes, the marine environment, faction, dispersion, local and general corrosion of metal, elastomer dispersant.

REFERENCES

1. Majumder, Abhijit, Animangsu Ghatak, and Ashutosh Sharma. "Microfluidic adhesion induced by subsurface microstructures." *Science* 318.5848 (2007): 258-261.
2. Huang, Yonggang Y., Weixing Zhou, K. J. Hsia, Etienne Menard, Jang-Ung Park, John A. Rogers, Andrew G. Alleyne. "Stamp Collapse in Soft Lithography." *Langmuir* 21.17 (2005): 8058–8068. DOI:10.1021/la0502185.

3. Pocius, Alphonsus V. *Adhesion and adhesives technology: an introduction*. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2012.
4. Leonov, Valeriu Evgenevich. *Osnovy ekologii i ochrana okrugaushei sredy*. Kherson: KhDMA, 2010.
5. Leonov, Valeriu Evgenevich, and I. I. Rublov. "Study of corrosion resistance of metallic hulls of ships treated by effective fillers." *Vestnik gosydarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota* 3(25) (2014):99–104.
6. Leonov, Valeriu Evgenevich, and I. I. Rublov. "Metodika isledovania i razrabotki stoikih ecologycheskih bezopasnuh pocritiu corpusov sydov." *Sovremennye jenergeticheskie ustanovki na transporte i tehnologii i oborudovanie dlja ih ispol'zovanija: sbornik trudov konferencii*. Herson: HDMA, 2012: 87–91.
7. Leonov, Valeriu Evgenevich, and I. I. Rublov. "Isledovania i razrabotka stoikih ecologycheski bezopasnih pocritiu korpysov sydov." *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii "Fundamentalnye i prikladnye nauki segodnja"*. M., 2013: 197–199.
8. Leonov, Valeriu Evgenevich, and I. I. Rublov. "Isledovanie stabilnosti deistvia zachitnogo pokritia na scorost korozii metalicheskoy poverhnosti corpusov sydov." *Sovremennye jenergeticheskie ustanovki na transporte i tehnologii i oborudovanie dlja ih ispol'zovanija: sbornik trudov konferencii*. Herson: HDMA, 2014: 193–197.
9. Dmitriev, Vladimir Ivanovich, V. E. Leonov, P. G. Himich, V. F. Hodakovskij, and L. B. Kulikova. *Obespechenie bezopasnosti plavania sydov i predotvrachenie zagreznennia okrugaushei sredy*. Kherson: KhDMA, 2012.
10. Leonov, Valeriu Evgenevich, and I. I. Rublov. "Mehanizm deistvia zashitnogo pokritia corpusov sudov usloviah statnogo reisa." XI Mezhdunarodnaja konferencija "Strategija kachestva v promyshlennosti i obrazovanii": sbornik trudov konferencii. Bolgarija–Varna: Tehniceskij universitet, 2015: 82–86.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Рублёв Илья Иванович — аспирант.
Научный руководитель:
Леонов Валерий Евгеньевич —
доктор технических наук, профессор.
Херсонская государственная морская академия
Leonov_V_E@i.ua

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Rublov Ilija Ivanovich — postgraduate.
Supervisor:
Leonov Valeriu Yevgenevich —
Dr. of Technical science, professor.
Kherson State Maritime Academy
Leonov_V_E@i.ua

Статья поступила в редакцию 12 октября 2015 г.

УДК 629.5

М. С. Горохов

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ НАБОРА ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО КОРПУСА

Существенное влияние на экономические и эксплуатационно-технические показатели железобетонного корпуса оказывает используемая в нем система набора и технология его постройки. Рассмотрены основные преимущества и недостатки различных систем набора железобетонного корпуса. Существующие на данный момент рекомендации по применению той или иной системы набора при заданной длине корпуса потеряли свою актуальность, так как не учитывают многие современные экономические и технологические факторы. С использованием специально разработанной программы для ЭВМ проведен анализ влияния различных систем набора, характера расположения внутренних переборок, технологических и экономических условий предприятия-строителя на величину строительной стоимости железобетонного корпуса в зависимости от его главных размерений. В ходе выполнения численного эксперимента установлены границы областей рационального применения той или иной системы набора корпуса. Предложена принципиально новая перспективная система набора корпуса, позволяющая минимизировать его строительную стоимость.

Ключевые слова: система набора, железобетонный корпус, строительная стоимость, тариф, грузоподъемность, численный эксперимент, длина корпуса.