

УДК 629.5:620.197.5

DOI: 10.37890/jwt.vi372

Исследования микроскопии поверхностного слоя стали в районе переменной ватерлинии судов и океанотехнических объектов

В.А. Крамарь

ORCID: 0000-0002-0528-1978

А.В. Родькина

ORCID: 0000-0002-4593-4259

О.А. Иванова

ORCID: 0000-0002-3034-0968

В.Р. Душко

ORCID: 0000-0001-9265-9512

Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия

Аннотация. Авторами статьи описаны исследования поверхностного слоя стали для условий непрерывного погружения в модельный раствор морской воды и района переменной ватерлинии судов и океанотехнических объектов. Результаты микроскопии показали существенную разницу в структуре и составе поверхностного слоя в зависимости от экспериментальных условий. Дальнейшее изучение полученного элементного состава и снимков микроскопии позволит разработать методику компьютерного анализа данных на основе системы технического зрения или с применением интеллектуальных подходов для прогнозирования потенциала судостроительных сталей на различных этапах воздействия морской воды с целью совершенствования методов защиты от коррозии.

Ключевые слова: коррозионно-механические разрушения, переменная ватерлиния, микроскопия, океанотехнические объекты.

Microscopy studies of the surface layer of steel in the area of variable waterline of vessels and ocean technical facilities

Vadim V. Kramar

ORCID: 0000-0002-0528-1978

Anna V. Rodkina

ORCID: 0000-0002-4593-4259

Olga A. Ivanova

ORCID: 0000-0002-3034-0968

Veronika R. Dushko

ORCID: 0000-0001-9265-9512

Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

Abstract. The authors of the article describe the study of the surface layer of steel for the conditions of continuous immersion in a model solution of sea water and the area of variable waterline of ships and ocean technical facilities. The results of microscopy showed a significant difference in the structure and composition of the surface layer depending on the experimental conditions. Further study of the obtained elemental composition and microscopy images will make it possible to develop a method for computer analysis of data based on a vision system or using intelligent approaches to predict the potential of shipbuilding steels at various stages of exposure to sea water in order to improve corrosion protection methods.

Keywords: corrosion-mechanical damage, splash area, microscopy, ocean technical facilities.

Введение

Развитие высокотехнологичной судостроительной отрасли предусматривается Государственной программой Российской Федерации «Развитие судостроения и техники для освоения шельфовых месторождений» и обеспечивается разработкой новых технологий и проектов гражданской морской техники. Также, до 2030 года одним из приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации, который позволит получить научные и научно-технические результаты и создать технологии, являющиеся основой инновационного развития внутреннего рынка продуктов и услуг, устойчивого положения России на внешнем рынке, является переход, в частности, к новым материалам и способам конструирования.

Проблема коррозии в целом не является новой, но в настоящее время во всех промышленных странах непрерывно растет потребность ее решения [1]. Защита судов от коррозии продолжает оставаться актуальной, так как темпы коррозии оказывают влияние на прочность корпуса и возможность его эксплуатации [2]. Однако наиболее подвержен коррозии район периодического смачивания или район переменной ватерлинии. Коррозийное воздействие может приводить не только к повреждению корпуса судна и океанотехнических объектов, но и к нарушению в рассчитанном управлении из-за изменения их поверхности, что может повлечь за собой изменение их гидродинамических параметров и «плавности» обтекания корпуса при выполнении высокоточных технологических операций.

В морской воде на поверхности металла протекают два электродных процесса: окисление металла и восстановление окислителя, в большинстве случаев растворенного в воде кислорода. Анализ существующих видов дефектов наружной обшивки морских судов и океанотехнических объектов, образовавшихся в результате коррозии показал, что скорость ее протекания, как с внутренней, так и наружной стороны обшивки судна, составляет приблизительно 0,025–0,125 мм/год [3] в зависимости от условий, в которых эксплуатируется данное судно или океанотехническое сооружение, что соответствует равномерной поверхностной коррозии и не учитывает локальные дефекты [4].

Воздух, растворенный в морской воде, значительно ускоряет процесс коррозии, благодаря чему участки металлической конструкции, расположенные у поверхности воды, корродируют значительно сильнее, чем на глубине. Район периодического смачивания (район переменной ватерлинии) начинается несколько ниже среднего уровня малой воды и заканчивается над ним на высоте в 1,5–2 раза превышающей расстояние от этого уровня до отметки ее нижней границы. Диапазон простирается этого района зависит от приливо-отливных условий, номинальной высоты волны, а также от воздействия ледового покрова в условиях холодного климата.

Повышенное содержание кислорода в поверхностных слоях воды вызывает усиленную коррозию в области ватерлинии судов, на участках корпусов судов и океанотехнических объектов, находящихся близко у поверхности. На рис. 1 представлены особенности коррозионного воздействия среды в зависимости от окружающих условий на примере океанотехнического объекта – стационарной буровой установки [5].



Рис. 1. Районы коррозии и методы защиты от нее морских стационарных платформ:
 1 – грунт; 2 – сваи; 3 – дно моря; 4 – аноды; 5 – опорное основание; 6 – морская вода;
 7 – средний уровень морской воды; 8 – опоры палубы;
 9 – модули верхнего строения; 10 – буровая вышка

Учитывая особенности района переменной ватерлинии необходимо детально изучить эффективность применяемых методов защиты, в частности, катодной защиты. Для выполнения данной задачи требуется создание специальной методики исследования процессов, происходящих на поверхности судостроительных сталей, находящихся в районе переменной ватерлинии. Рассмотрены методики исследования поверхности металлоконструкции [6–13]. По результатам их анализа можно сделать вывод, что исследование потенциала металлоконструкции производится во время фактического коррозионного процесса и требует затрат на моделирование необходимой коррозионной среды. Данные методики не позволяют моделировать и исследовать влияние условий среды района переменной ватерлинии на состояние стальных конструкций морских судов и океанотехнических объектов. Таким образом, требуется разработка методики исследования поверхностного слоя стали при непрерывном погружении и в районе переменной ватерлинии морских судов, и океанотехнических объектов.

Вышеизложенные положения определяют цель данной работы – исследование поверхностного слоя стали в районе переменной ватерлинии судов и океанотехнических объектов, которая позволит разработать методику исследования потенциала судостроительных сталей на различных этапах воздействия морской воды на район переменной ватерлинии, в том числе при катодной поляризации.

Исследование поверхностного слоя

Для выполнения поставленной цели были проведены исследования судостроительной конструкционной легированной стали на универсальном

настольном сканирующем электронном микроскопе Phenom ProX согласно рекомендациям, изложенным в паспортной документации [14], на специально подготовленном образце (рис. 2), изготовленный в соответствии с требованиями [15].

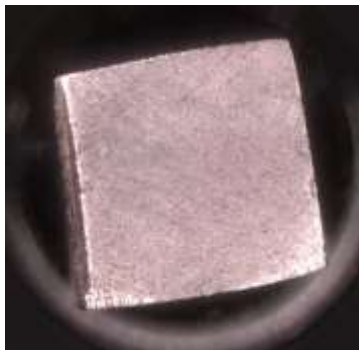


Рис. 2. Образец судостроительной стали

Для определения элементного состава в точке использовался встроенный программный пакет Element Identification. Исследования каждого образца проводились в пяти масштабах увеличения (100, 1000, 2000, 5000, 10000) и в трех-пяти точках различных монохромных оттенков полученных снимков. При проведении микроскопии после исследования коррозионных процессов района переменной ватерлинии количество применяемых масштабов и точек было изменено в случае невозможности получения четкого изображения при высоком уровне увеличения. По итогам каждого эксперимента сохранялась информация о спектре материала в каждой точке (рис. 3), изображение образца, полученное с помощью детектора обратнорассеянных электронов (рис. 4), и изображение, содержащее информацию обо всех элементах (рис. 5). На рисунках 3–5 показан один из результатов исследования поверхностного слоя чистого образца судостроительной стали.

Element Symbol	Atomic Conc.	Weight Conc.
Fe	46.33	71.27
O	36.54	16.10
Al	14.26	10.60
Si	1.43	1.11
Cr	0.41	0.58

Рис. 3. Информация о спектре материала

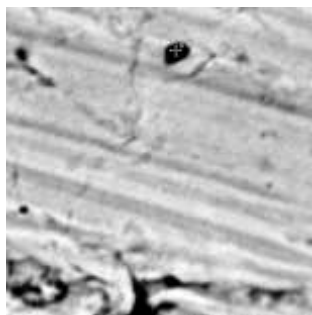


Рис. 4. Изображение образца

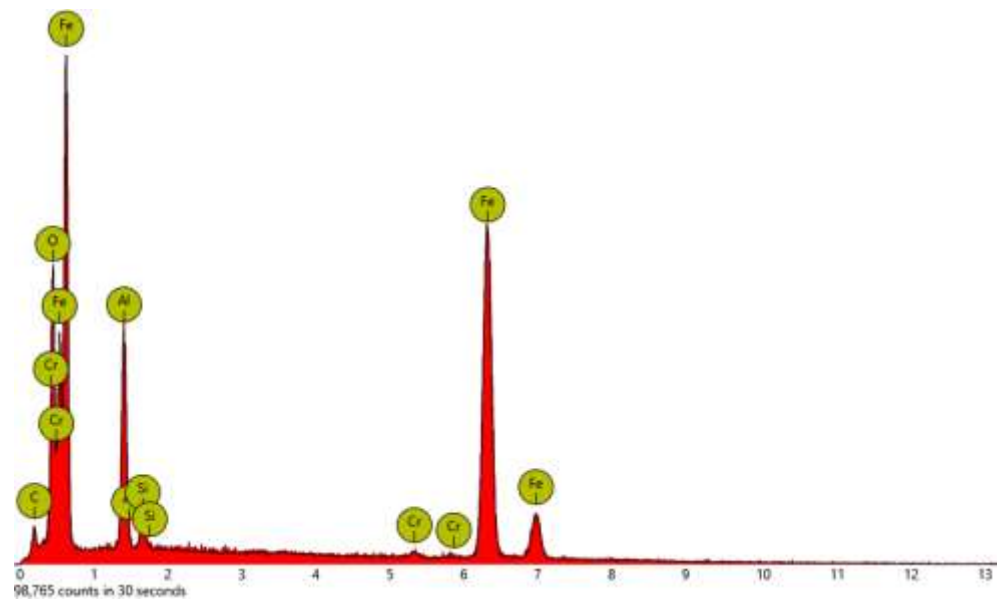


Рис. 5. Элементный состав

Результаты микроскопии

Микроскопия проводилась для образцов в экспериментальных условиях:

- чистого образца;
- непрерывного погружения в модельный раствор морской воды;
- района переменной ватерлинии морских судов и океанотехнических объектов.

Изображения поверхностного слоя чистого образца судостроительной стали (рис. 4) – четкие. В ходе анализа элементного состава в исследованных точках выявлены зависимости между цветовой характеристикой точки (в градациях серого) и элементным составом, которые могут позволить оценить марку стали и возможные дефекты поверхностного слоя. Данные результаты микроскопии чистого образца особо важны для оценки изменения состояния поверхностного слоя после исследования в условиях непрерывного погружения образца и в условиях района переменной ватерлинии.

Для исследования коррозионных процессов района переменной ватерлинии были изучены климатические особенности приливов, отливов и волнения для февраля месяца [16] Штормового газоконденсатного месторождения (44°55'03.1"N 31°42'55.8"E), крупнейшего действующего морского месторождения в Черном море [17], где эксплуатируются океанотехнические объекты – самоподъемная плавучая буровая установка «Сиваш», морская стационарная платформа МСП-17 и др.

Для требуемых координат были получены данные Гидрометцентра [18] на основе карты (рис. 6), где цветом обозначена высота преобладающих волн (м) и стрелками показано среднее направление распространения волн (только для областей с высотой волн более 5 см), учитывая, что отдельные волны могут превышать приводимые значения.

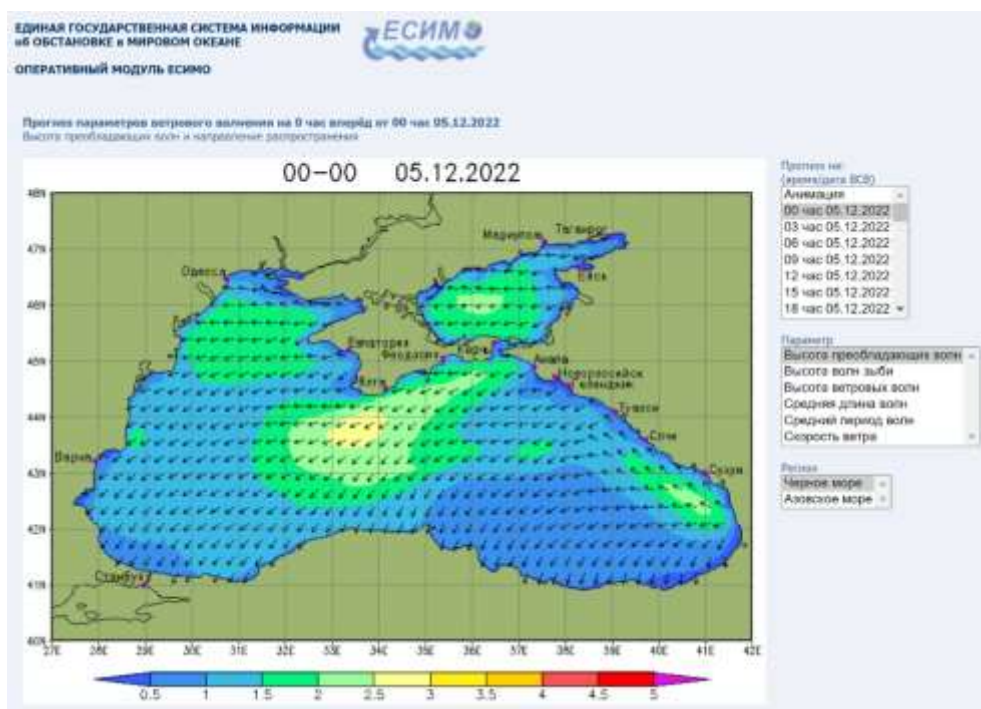


Рис. 6. Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане

Определено, что периодичность волнения в данный период времени составляет порядка 48 часов, соответственно, для исследования района переменной ватерлинии в лабораторных условиях образец погружался в модельный раствор морской воды каждые 48 часов, затем 48 часов находился в атмосферных условиях. При проведении манипуляций с образцом обязательно отслеживалась сохранность рабочей стороны образца исключая любые контакты с инструментами.

Для определения высоты района переменной ватерлинии из полученных значений наиболее информативна преобладающая высота волн. Значения фиксировались каждые 3 часа (табл. 1), что позволяет прогностическая система Гидрометцентра.

Таблица 1

Высота преобладающих волн

Время, час	14.06.2022	10.07.2022	28.08.2022	09.09.2022	21.10.2022	23.11.2022
0	1	0,5	0,5	0,5	2	0,5
3	1	2,5	0,5	0,5	1,5	1
6	0,5	2,5	0,5	0,5	1,5	1,5
9	1	2,5	0,5	1	1	2
12	0,5	2,5	0,5	1	1	2,5
15	0,5	2	0,5	1	0,5	2,5
18	1	1,5	0,5	1,5	0,5	3
21	1	1	0,5	1,5	0,5	2,5

Затем определялась максимальная высота волны за день и на основе этих данных были построены ежемесячные гистограммы (рис. 7).

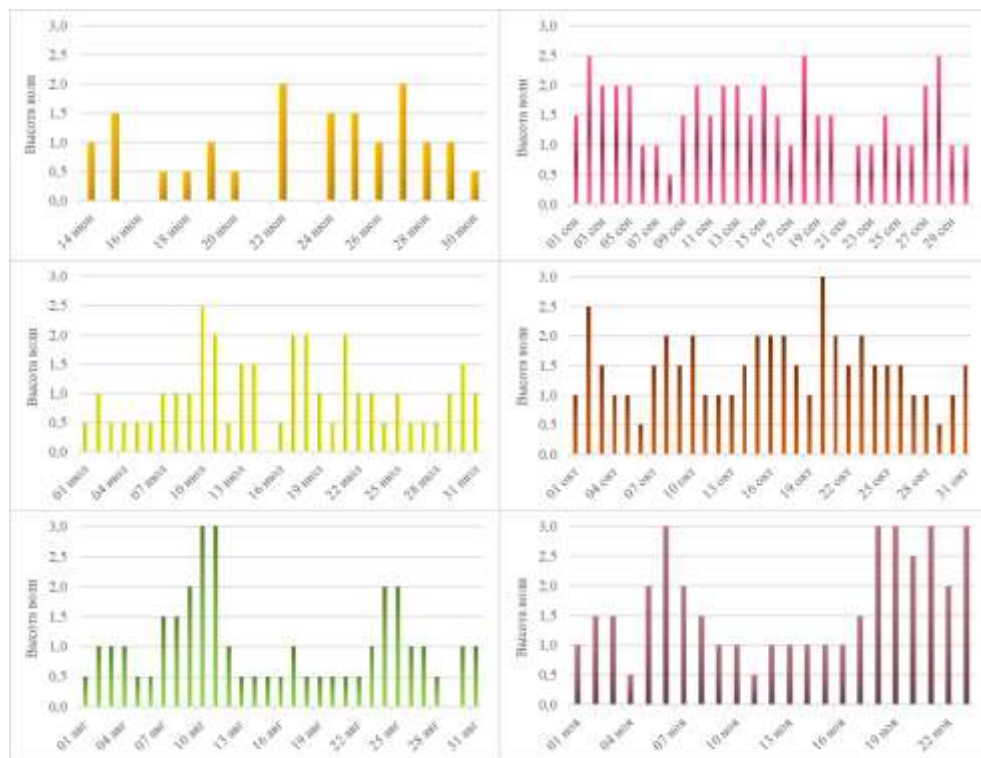


Рис. 7. Максимальные высоты волны

На основе проанализированного временного периода июнь 2022 г. – ноябрь 2022 г. максимальная высота волны наблюдается в августе, октябре и ноябре от 1 до 5 дней, не более 17 % месяца. Следует учитывать, что высоты волн равные 0,0 м не предполагают полного штиля, возможно появление волн зыби. Таким образом была определена высота района переменной ватерлинии, на примере МСП-17, установленной в Черном море.

Фото результата исследования условий непрерывного погружения в модельный раствор морской воды представлено на рис. 8 (а). Фото результата исследования условий района переменной ватерлинии представлено на рис. 9 (а). Результаты микроскопии отражены на рис. 8 (б), 9 (б).

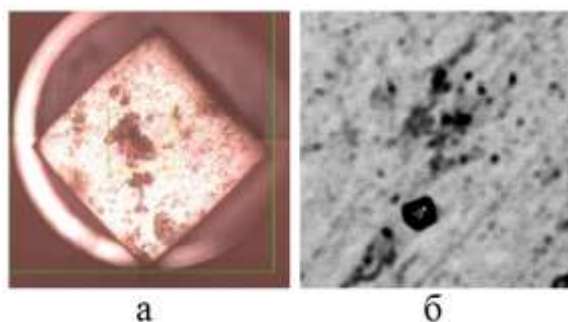


Рис. 8. Образец и результат микроскопии образца судостроительной стали после непрерывного погружения в модельный раствор морской воды

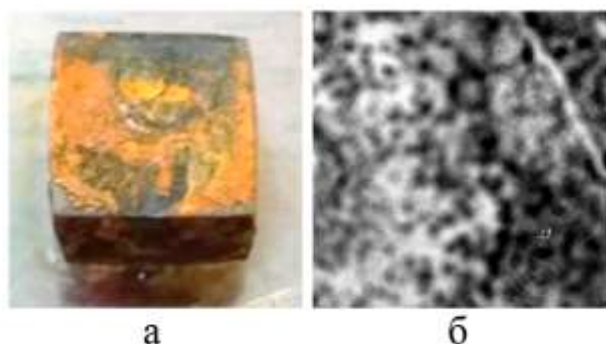


Рис. 9. Образец и результат микроскопии образца судостроительной стали после эксперимента в условиях района переменной ватерлинии

Изображения поверхностного слоя образца судостроительной стали, моделирующего состояние стали в подводной части, и после исследования в условиях района переменной ватерлинии имеют менее четкие границы между градациями серого, однако палитра более разнообразна. Проведенная микроскопия позволила выявить разницу качественного и количественного элементного состава полученного в ходе эксперимента поверхностного слоя, образующегося в результате взаимодействия стали с морской водой и влажной окружающей средой (экспериментальные условия района переменной ватерлинии). Исследование обусловленного влияния изменения количественного состава поверхностного слоя в зависимости от условий эксплуатации района корпуса (непрерывного погружения в морскую воду и района переменной ватерлинии) позволит усовершенствовать методики предотвращения коррозионных разрушений корпусных конструкций морских судов и океанотехнических объектов.

Заключение

Впервые проведены исследования микроскопии поверхностного слоя стали по определению элементного состава в лабораторных условиях, аналогичных району переменной ватерлинии судов и океанотехнических объектов. Результаты позволяют определить зависимости между цветовой характеристикой точки (в градациях серого) и элементным составом, что дает возможность оценить возможные дефекты поверхностного слоя и район расположения исследуемой области относительно ватерлинии. Изучение полученного элементного состава и снимков микроскопии определяет перспективу дальнейших исследований, а именно – разработку методики компьютерного анализа данных на основе системы технического зрения или с применением интеллектуальных подходов с целью создания способа защиты морских судов и океанотехнических объектов в районе переменной ватерлинии, особенностью которого является использование специального анодного узла как защитного элемента, работающего на основе построения прогнозных оценок защитного потенциала с помощью нейросетевого моделирования для точного выбора защитного потенциала с учетом ювенильной поверхности. Применение данного способа защиты позволит снизить скорость коррозионно-механических разрушений корпусных конструкций морских судов и плавучих технических сооружений, проектируемых для Черноморского бассейна и эксплуатирующихся в этом регионе. При наличии данных о климатических особенностях приливов, отливов и волнения возможно применение данного способа для объектов, эксплуатирующихся в любой точке мирового океана.

Список литературы

1. Киршина А.А., Багерман А.З., Киршин А.Ю., Князьков М.Л., Левихин А.А. Сравнительная оценка эксплуатационных характеристик (окисление, коррозия) порошковых и литейных сплавов // Труды Крыловского государственного научного центра. 2018. №2(384). С. 81–86.
2. Rodkina A., Kramar V., Ivanova O. Computer Assisted Data Analysis for Predicting the Protective Potential of Hull Structures of Ships and Floating Facilities // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Volume 1333, 2. 032069. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1333/3/032069>
3. Семенова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.В. Коррозия и защита от коррозии. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. 336 с.
4. Kramar V., Rodkina A., Ivanova O., Chernyi S., Zinchenko A. Analysis Technology and Cathodic Protection for Hull Structures of Ships and Floating Facilities // Inventions 2021, 6, 74. DOI: <https://doi.org/10.3390/inventions6040074>
5. Бабей Ю.И., Сопрунюк Н.Г. Защита стали от коррозионно-механического разрушения. Киев: Техника, 1981. 126 с.
6. Ожиганов Ю.Г. Коррозионная усталость металлов, применяемых в судовом машиностроении. Севастополь, 1980, 391 с.
7. Пат. 2 533 344 Российская Федерация, Установка для электрохимического исследования коррозии металлов, Перельгин Ю.П., Розен А.Е., Киреев С.Ю., Лось И.С., Панин М.Ю.; № 2013131950, заявл.09.07.2013, опубл. 20.11.2014, Бюл. № 32.
8. Пат. 2 634 800 Российская Федерация, Способ определения порога напряжений коррозионного растрескивания стали или сплава при постоянной деформации, Батаев С.В., Береснева И.А., Дербышев А.С., Ефимов А.Н., Жолудь А.С., Крицкий А.А., Ладыгин Ф.А., Мельников В.В., Чинейкин С.В., Шипулин С.А., АО «Чепецкий механический завод»; № 2016145747; заяв. 22.11.2016, опубл. 03.11.2017, Бюл. № 31.
9. Pat. 101762453 China, Accelerated test method of inbuilt electrode simulating non-uniform corrosion of steel bar in concrete, Jin Weiliang, Xia Jin, Wang Hailong, Zhejiang University ZJU, № 2010100396903; prior. 15.01.2010, publ. 30.06.2010.
10. Pat. 204116137 China, A kind of electrochemical corrosion test fixture loading tension for petroleum pipeline, Fu Anqing, Xie Junfeng, Shangguan Fengshou, Wang Tongfeng, Liu Zhengdong, Li Fagen, Cai Rui, Zhao Xuehui, Yin Chengxian, Bai Zhenquan, China National Petroleum Corp, CNPC Tubular Goods Research Institute, № 201420620656; prior. 24.10.2014, publ. 21.01.2015.
11. Pat. 104849198, China, A kind of erosion-corrosion experimental provision for simulating waves splash about area, Zhao Weimin, Zhang Ti Ming, Wang Yong, Sun Jianbo, China University of Petroleum UPC East China, № 201510257018; prior. 15.05.2015, publ. 26.09.2017.
12. Пат. 2 379 655 Российская Федерация, Способ контроля коррозионной стойкости углеродистых и низколегированных сталей и изделий из них, Реформатарская И.И., Бегишев И.Р., Нисельсон Л.А., Подобаев А.Н., Ащеулова И.И., НИФХИ им. Л.Я. Карлова; № 2008126165; заяв. 27.06.2008, опубл. 20.01.2010, Бюл. № 2.
13. Пат. 2 695 961 Российская Федерация, МПК G 01 N 17/02. Комплекс для исследования электрохимических характеристик корпусных конструкций судов и плавучих технических сооружений, Родкина А.В., Иванова О.А., Душко В.Р., Крамарь В.А.; № 2018134086, заявл. 26.09.2018, опубл. 29.07.2019, Бюл. № 22.
14. Электронный микроскоп Thermo Fisher Scientific Phenom ProX. URL: <https://pharma-se.ru/products/nastolnye-elektronnye-mikroskopy/elektronnyu-mikroskop-thermo-fisher-scientific-phenom-prox/> (дата обращения 01.08.2022).
15. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1986. 647 с.
16. Справочных данных по режиму ветра и волнения Балтийского, Северного, Черного, Азовского и Средиземного морей. СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2006.
17. Государственное унитарное предприятие Республики Крым «Черноморнефтегаз». URL: <http://gas.crimea.ru/> (дата обращения 01.08.2022).
18. Единая государственная система информации об обстановке в мировом океане. Прогноз параметров ветрового волнения. URL: http://193.7.160.230/web/esimo/black/wwwf/wwwf_black.php (дата обращения 01.08.2022).

References

1. Kirshina A.A., Bagerman A.Z., Kirshin A.Yu., Knyazkov M.L., Levikhin A.A. Sravnitel'naya otsenka ekspluatatsionnykh kharakteristik (okisleniye, korroziya) poroshkovykh i liteynykh splavov [Comparative assessment of performance parameters (oxidation, corrosion) of powder and cast alloys]. Transactions of the Krylov State Research Centre 2018, no 2(384). pp. 81–86. (In Russ).
2. Rodkina A., Kramar V., Ivanova O. Computer Assisted Data Analysis for Predicting the Protective Potential of Hull Structures of Ships and Floating Facilities. Journal of Physics: Conference Series 1333, 2. 032069. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1333/3/032069>
3. Semenova I.V., Florianovich G.M., Khoroshilov A.V. Korroziya i zashchita ot korrozii [Corrosion and corrosion protection]. M.: FIZMATLIT, 2002. 336 p. (In Russ).
4. Kramar V., Rodkina A., Ivanova O., Chernyi S., Zinchenko A. Analysis Technology and Cathodic Protection for Hull Structures of Ships and Floating Facilities. Inventions 6(4). 74. DOI: <https://doi.org/10.3390/inventions6040074>
5. Babey Yu.I., Soprunyuk N.G. Zashchita stali ot korroziionno-mekhanicheskogo razrusheniya [Protection of steel from corrosion-mechanical destruction]. Kyiv: Technique, 1981. 126 p. (In Russ).
6. Ozhiganov Yu.G. Corrosionaya ustalost metallov, primenyaemih v sudovom mashinostroenii [Corrosion fatigue of metals used in marine engineering]. Sevastopol, 1980, 391 s.
7. Pat. 2 533 344 Rossiyskaya Federatsiya, Ustanovka dlya elektrokhimicheskogo issledovaniya korrozii metallov [Installation for electrochemical survey of metal corrosion]. Perelygin Yu.P., Rozen A.E., Kireev S.Yu., Los' I.S., Panin M.Yu.; № 2013131950, zayavl. 09.07.2013, opubl. 20.11.2014, Byul. № 32.
8. Pat. 2 634 800 Rossiyskaya Federatsiya, Sposob opredeleniya poroga napryazhenij korroziionnogo rastreskivaniya stali ili splava pri postoyannoj deformacii [Method for definition of threshold of stresses of corrosion treatment of steel or alloy under constant deformation]. Bataev S.V., Beresneva I.A., Derbyshev A.S., Efimov A.N., Zholid' A.S., Krickij A.A., Ladygin F.A., Mel'nikov V.V., Chinejkin S.V., Shipulin S.A., AO «Chepeckij mekhanicheskij zavod»; № 2016145747; zayavl. 22.11.2016, opubl. 03.11.2017, Byul. № 31.
9. Pat. 101762453 China, Accelerated test method of inbuilt electrode simulating non-uniform corrosion of steel bar in concrete, Jin Weiliang, Xia Jin, Wang Hailong, Zhejiang University ZJU, № 2010100396903; prior. 15.01.2010, publ. 30.06.2010.
10. Pat. 204116137 China, A kind of electrochemical corrosion test fixture loading tension for petroleum pipeline, Fu Anqing, Xie Junfeng, Shanguan Fengshou, Wang Tongfeng, Liu Zhengdong, Li Fagen, Cai Rui, Zhao Xuehui, Yin Chengxian, Bai Zhenquan, China National Petroleum Corp, CNPC Tubular Goods Research Institute, № 201420620656; prior. 24.10.2014, publ. 21.01.2015.
11. Pat. 104849198, China, A kind of erosion-corrosion experimental provision for simulating waves splash about area, Zhao Weimin, Zhang Ti Ming, Wang Yong, Sun Jianbo, China University of Petroleum UPC East China, № 201510257018; prior. 15.05.2015, publ. 26.09.2017.
12. Pat. 2 379 655 Rossiyskaya Federatsiya, Sposob kontrolya korroziionnoj stojkosti uglerodistykh i nizekolegirovannykh stalej i izdelij iz nih [Method of monitoring corrosion resistance of carbon- and low-alloyed steel and objects made from said steel]. Reformatarskaya I.I., Begishev I.R., Nisel'son L.A., Podobaev A.N., Ashcheulova I.I., NIFH im. L.Ya. Karpova; № 2008126165; zayavl. 27.06.2008, opubl. 20.01.2010, Byul. № 2.
13. Pat. 2 695 961 Rossiyskaya Federatsiya, MPK G 01 N 17/02. Kompleks dlya issledovaniya elektrokhimicheskikh kharakteristik korpusnykh konstruksiy sudov i plavuchikh tekhnicheskikh sooruzheniy [Complex for electrochemical characteristics research of vessels and floating technical structures hull structures]. Rodkina A.V., Ivanova O.A., Dushko V.R., Kramar V.A.; № 2018134086, zayavl. 26.09.2018, opubl. 29.07.2019, Byul. № 22.
14. Elektronnyy mikroskop Thermo Fisher Scientific Phenom ProX [Electron microscope Thermo Fisher Scientific Phenom ProX]. Available at: <<https://pharmase.ru/products/nastolnye-elektronnye-mikroskopy/elektronnyy-mikroskop-thermo-fisher-scientific-phenom-prox/>> (accessed 01.08.2022).
15. Gulyaev A.P. Metallovedeniye [Metal science]. Moscow: Metallurgy, 1986. 647 p. (In Russ).

16. Spravochnyykh dannykh po rezhimu vetra i volneniya Baltiyskogo, Severnogo, Chernogo, Azovskogo i Sredizemnogo morey [Reference data on the wind and wave regime of the Baltic, North, Black, Azov and Mediterranean seas]. SPb.: Russian Maritime Register of Shipping, 2006. 450 p. (In Russ).
17. Gosudarstvennoye unitarnoye predpriyatiye Respubliki Krym «Chernomorneftegaz» [State Unitary Enterprise of the Republic of Crimea "Chernomorneftegaz"]. Available at: <<http://gas.crimea.ru/component/content/article/23-novosti/69-karta>> (accessed 01.08.2022).
18. Yedinaya gosudarstvennaya sistema informatsii ob obstanovke v mirovom okeane. Prognoz parametrov vetrovogo volneniya [Unified state information system about the situation in the world ocean. Forecast of wind wave parameters]. Available at: <http://193.7.160.230/web/esimo/black/wwf/wwf_black.php> (accessed 01.08.2022).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Крамарь Вадим Александрович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Информатика и управление в технических системах» ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33, e-mail: vakramar@sevsu.ru

Родькина Анна Владимировна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Инновационное судостроение и технологии освоения шельфа» ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33, e-mail: a.v.rodkina@mail.ru

Иванова Ольга Александровна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Океанотехника и кораблестроение» ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33, e-mail: o.a.ivanova.kmt@mail.ru

Душко Вероника Ростиславовна, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Инновационное судостроение и технологии освоения шельфа» ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33, e-mail: v.r.dushko@mail.ru

Vadim A., Kramar, D.Sc.(Tech.), Professor of the Department of Informatics and Control in Technical Systems, Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053

Anna V. Rodkina Ph.D. in Engineering Science, Assistant Professor of the Department of Innovative shipbuilding and shelf development technologies, Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053

Olga A. Ivanova, Ph.D. in Engineering Science, Assistant Professor of the Department of Ocean Technology and Shipbuilding, Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053

Veronika R. Dushko, Ph.D. in Engineering Science, assistant professor, head of the Department of Innovative shipbuilding and shelf development technologies, Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053

Статья поступила в редакцию 05.04.2023; опубликована онлайн 20.06.2023.
Received 05.04.2023; published online 20.06.2023.