

УДК 620.193.21

Е.А. Варченко¹, М.Г. Курс¹**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОРРОЗИОННОЙ СРЕДЫ
НА СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ В МОРСКОЙ ВОДЕ (обзор)**

DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-5-85-93

Проведен анализ отечественного и зарубежного опыта по методам проведения испытаний материалов в морской воде. Показано, что при определении характеристик материалов при эксплуатации в морской воде необходимо использовать следующие методы: испытания материалов в движущейся (с изменяемой скоростью потока) воде для выявления мотозлектрического эффекта и кавитации; испытания материалов в зоне периодического смачивания и в приповерхностных слоях воды – для определения влияния на стойкость материалов к аэрации; испытания материалов на биологическую стойкость для определения степени обрастания и степени деструкции материалов в данной акватории моря.

Ключевые слова: коррозия, биологическая стойкость материалов, обрастание, морские испытания, испытания в движущейся морской воде.

Е.А. Varchenko¹, M.G. Kurs¹**INFLUENCE OF CORROSION ENVIRONMENTAL PARAMETERS
ON PROPERTIES OF CONSTRUCTIONAL METAL MATERIALS
WHILE TESTING IN SEA WATER (review)**

The analysis of domestic and foreign experience of methods of testing materials in sea water. It has been shown that the following materials should be used in determining the characteristics of materials during operation in seawater: testing materials in a water flow moving with variable speed in order to identify the motor-electric effect and cavitation; testing materials in the period of wetting and in the near-surface water layers to determine the effect on materials resistance to aeration; biological resistance testing of materials to determine the degree of fouling and the degree of destruction of materials in a given water area.

Keywords: corrosion, biological resistance of materials, fouling, sea tests, tests in moving sea water.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials» State Research Center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

Введение

Глобальное изменение климата, повышение уровня мирового океана приводит к увеличению количества катастроф и лесных пожаров [1]. Наиболее эффективным средством борьбы с пожарами зарекомендовала себя морская авиация. Для расширения роли морской авиации и перечня выполняемых задач необходимо преодолеть главное препятствие на пути широкого внедрения морской авиации – коррозионное воздействие морской воды на все узлы и агрегаты гидросамолета. Для этого разрабатываются коррозионностойкие материалы и средства защиты для металлов, гарантирующие бесперебойную работу и способность техники эффективно решать задачи в акваториях любых климатических зон. Разумеется, создание эффективных средств защиты невозможно без создания экспериментальной базы и методологического аппарата,

в совокупности позволяющих качественно провести цикл испытаний для прогнозирования ресурса безопасной работы всех узлов и агрегатов гидросамолета при эксплуатации в заданных климатических условиях [2]. Предварительное подтверждение климатического исполнения изделий и определение сроков сохраняемости свойств позволят снизить затраты на ремонт и восстановление после отказов в такой сложной технической системе, как морское воздушное судно [3–6].

Наиболее агрессивные факторы, воздействующие на материалы наружного контура гидросамолета, определяются спецификой применения: стоянка при контакте с морской водой; взлет, при котором на корпус воздействует скоростной поток морской воды и отдельные брызги; полет, при котором корпус может остыть до температуры -60°C ; затем посадка, т. е. удар о воду на высокой скорости. При этом на стоянке корпус самолета подвержен биологическому обрастанию, влагонасыщению и коррозии в морской воде; при взлете корпус подвергается ударам волн, воздействию скоростного потока и даже кавитационному воздействию; брызги морской воды могут интенсивно засасываться в область рабочих лопаток двигателя и приводить к сульфидно-оксидной коррозии жаропрочных сплавов. Аэрозоли морской воды представляют собой один из наиболее агрессивных внешних факторов для объектов, эксплуатирующихся в морских условиях. Влага, содержащаяся в воздушной атмосфере, и ее воздействие проявляется в значительном снижении электроизоляционных свойств полимерных изоляционных материалов, что может привести к выходу из строя бортовой электронной аппаратуры. Присутствие растворенных химических соединений во влаге значительно усиливает ее отрицательное воздействие [7, 8].

Для решения задачи предварительного подтверждения климатического исполнения изделий и определения сроков сохраняемости свойств материалов в составе гидросамолета необходима разработка методологии и конкретных методов испытаний материалов и защитных покрытий в движущейся морской воде с варьируемым содержанием кислорода и возможностью оценки кавитационного воздействия при периодическом смачивании образцов и биологическом обрастании.

Влияние биообрастателей на механические свойства конструкционных материалов

Море, как и любой природный водоем, служит средой обитания большого количества микро- и макроорганизмов, которые в процессе своей жизнедеятельности заселяют любые поверхности. Биологическое обрастание возникает в результате развития естественной морской биоты на поверхности погруженных объектов [9, 10]. Каждый организм выбирает идеальные условия для существования, поэтому вертикальное распределение обрастателей как на подвижных, так и на неподвижных поверхностях определяется многими факторами: освещенностью, скоростью потока воды, глубиной и др. Места крепления биообрастателей в первую очередь определяются гидрофильностью и адсорбционной способностью материала, а уже во-вторых – характером и интенсивностью потока воды вдоль поверхности, а также микротурбулентностью в точках, где этот поток нарушается. Таким образом, распределение обрастателей вдоль корпуса судна и иных объектов – результат локальных благоприятных условий, в частности гидродинамических [11].

Когда рассматриваются испытания в приливно-отливной зоне, то нередко в научно-технической литературе встречается понятие «биологического контроля» скорости коррозии, которое базируется на данных испытаний образцов стали в морской воде. По итогам проведенных испытаний показано, что в течение первого года экспозиции скорость коррозии углеродистой стали очень велика (~ 250 мкм/год), что почти в 2 раза выше, чем при экспозиции в условия постоянного погружения. Образцы в зоне прилива также подвергаются обрастанию, но оно происходит значительно медленнее,

чем при постоянном погружении в том же месте, и только через год на металле образуется слой, обладающий высокими защитными свойствами. После этого (1–2 года испытаний) скорость коррозии падает до минимального значения (<10 мкм/год). Медленное обрастание и больший доступ кислорода к поверхности металла в зоне прилива (по сравнению с погруженными образцами) задерживают возникновение полностью анаэробных условий на металлической поверхности [12]. Обеспечение условий, способствующих торможению роста бактерий на этой стадии, позволило бы сохранить скорость коррозии на низком уровне, сделав возможной длительную эксплуатацию углеродистой конструкционной стали без защитных покрытий [13, 14].

Во многих научно-технических литературных источниках отмечается, что биологическое обрастание увеличивает скорость коррозии с 10 до 20% [15, 16]. Однако механические испытания образцов из алюминиевого сплава Д16 обшивки, подвергшейся обрастанию, показали, что при относительно небольших по глубине коррозионных раковинах предел прочности (σ_B) таких образцов выше, чем контрольных. Исследования влияния язвенной коррозии на механические характеристики стали свидетельствуют, что во всех без исключения случаях относительное удлинение образцов, подвергшихся коррозии, составляет 60–90% от относительного удлинения гладких образцов. Предел текучести изношенных образцов увеличивается на 2–27%, причем большей глубине коррозионных поражений соответствует больший предел текучести [17]. Это свидетельствует о наводороживании металла [18] при коррозии в присутствии биологического обрастания, так как именно при метаболизме микроорганизмов на поверхности образуется кислая среда, приводящая к интенсивному выделению водорода при катодной полуреакции. Наводороживание и охрупчивание металла приводят к значительному снижению сопротивления усталости конструкций [19].

Влияние коррозионной среды на механические свойства конструкционных материалов

При выборе материалов для проектирования стационарного изделия/объекта морского назначения, чаще всего учитывают лишь коррозионные потери металла, которые возникают вследствие развития равномерной коррозии, к которой склонна углеродистая сталь [20, 21]. Однако на практике такой подход может привести к серьезным ошибкам, так как упускается возможность появления локальной коррозии из-за биологического обрастания. Практически всегда причиной быстрого выхода из строя водных объектов и сооружений являются локальные коррозионные поражения материала, скорость роста которых в десятки раз выше скорости равномерной коррозии [22, 23].

Представляет интерес информация о влиянии аэрации коррозионной среды на механические характеристики сварных соединений сталей. В работе [24] представлены результаты испытаний образцов, вырезанных из сварного соединения стали РСД32, после коррозионного воздействия при различных условиях экспонирования в течение 6 мес. На рис. 1 графически представлены результаты испытаний на статический изгиб образцов, вырезанных из сварного соединения, в исходном состоянии (после ручной сварки) и подверженных коррозионному воздействию.

Видно, что разрушение образцов в зависимости от условий экспонирования происходит при различных нагрузках: до коррозионного разрушения максимальное усилие составляет 38400 Н, после коррозии при полном погружении 36220 Н, а в зоне периодического смачивания 31500 Н. Таким образом, показано, что коррозионное разрушение значительно ухудшает прочность сварных соединений. При этом наиболее низкая прочность отмечается на образце, размещенном в зоне переменного смачивания, что указывает на большую интенсивность проходящих в указанной зоне коррозионных процессов [24].

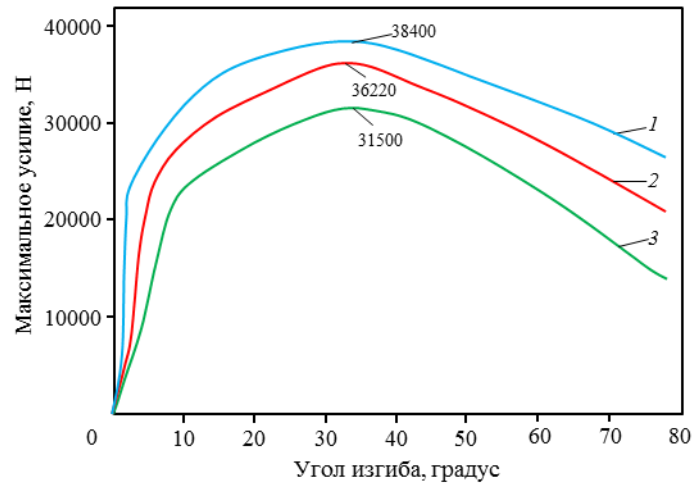


Рис. 1. Оценка сопротивления хрупкому разрушению сварного соединения стали РСД32, испытанного в различных условиях погружения в морскую воду в течение 6 мес:

1 – образец, не подвергшийся коррозионному разрушению; 2 – образец, испытанный при полном погружении; 3 – образец, размещенный в зоне периодического смачивания

Аналогичные результаты приводятся в работе [25], в которой анализируется состояние морских стационарных платформ (МСП), и делается вывод, что все элементы платформ затронуты коррозией, однако для всех МСП можно отметить одну очень важную тенденцию: фактическое состояние металлоконструкций в зоне переменного смачивания характеризуется наибольшим коррозионным износом. Средний износ элементов в этой зоне составляет 25–40%. Максимальный износ отдельных элементов достигает 75–85%. Исследования авторов работы [26] показали, что средняя скорость коррозии в зоне переменного смачивания составляет 0,16 мм/год, а в подводной и надводной зонах 0,12 и 0,10 мм/год соответственно.

Коррозионные процессы в движущейся морской воде

Известно [27], что аустенитные и нержавеющие стали обладают хорошей устойчивостью к воздействию морской воды при высоких скоростях потока. Эти материалы хорошо работают при условии отсутствия длительных периодов контакта с неподвижной морской водой, поскольку это может привести к локальным коррозионным поражениям. В этих условиях хорошо работают системы катодной защиты. Оксидные пленки, образующиеся на аустенитных нержавеющих сталях, никелевых сплавах и титане, по большей части делают данные сплавы практически неуязвимыми при эксплуатации на больших скоростях. Алюминий-бронзовые сплавы, никель-алюминиевые бронзы и медно-никелевые сплавы более чувствительны к увеличению скорости потока, они не имеют стабильной пленки.

Для нержавеющих сталей отмечается изначально высокая скорость коррозии на низких скоростях потока воды вследствие развития локальной коррозии, возникающей из-за контактных пар при дифференциальной аэрации. По мере увеличения скорости потока воды – приблизительно с 0,9 до 1,5 м/с – металл пассивируется потоком кислородсодержащей среды и скорость коррозии уменьшается до минимального уровня при очень высоких уровнях скорости потока.

Естественно, что на всех объектах морского назначения предусматривается защита от коррозии, в том числе и от контактной [28]. Она включает защиту лакокрасочными покрытиями (ОСТ 5.9258–77) и электроразъединениями (ОСТ В.1051–73), электрохимическую защиту (ОСТ 5.9042–71 и РД 5.9149–83 ЕСЗКС). Известно, что при сроке эксплуатации 18–24 мес сохранность лакокрасочных покрытий корпусов судов

составляет 70–80%, что приводит к оголению разнородных металлических частей корпуса и конструкций и, соответственно, к развитию контактной коррозии [29].

В качестве электрохимической защиты на судах применяется катодная защита. Наиболее важным фактором, с помощью которого можно повысить эффективность катодной защиты, является установление зависимости стационарного потенциала металла корпуса судна от скорости потока морской воды и ее температуры. Однако масштабных исследований по поведению металлов в высокоскоростном потоке морской воды не проводилось, хотя для некоторых сопряжений материалов получены частные параметры катодной защиты [30]. Согласно РД 5.9149–83 ЕСЗКС, действующим в настоящее время, защитный потенциал поддерживают на постоянном уровне при всех изменяющихся условиях эксплуатации судна (скорости хода судна, температуры морской воды). Указанный РД основывается на результатах, полученных при испытаниях в потоке морской воды со скоростью от 0 до 10 м/с. Однако в настоящее время морские суда эксплуатируются с гораздо большими скоростями хода [31]. Так, суда с динамическим принципом поддержания (на подводных крыльях, воздушной подушке, экранопланы) достигают следующих скоростей: 50–60 км/ч – подводные транспортные, 50–80 км/ч – полупогруженные многокорпусные, 60–100 км/ч – на подводных крыльях.

В условиях движущейся морской воды стационарный потенциал металлов не является стабильной и постоянной величиной, а смещается в положительную (например – для стали) или отрицательную (например – для алюминия и бронзы) сторону с изменением скорости потока (рис. 2) [30, 32].

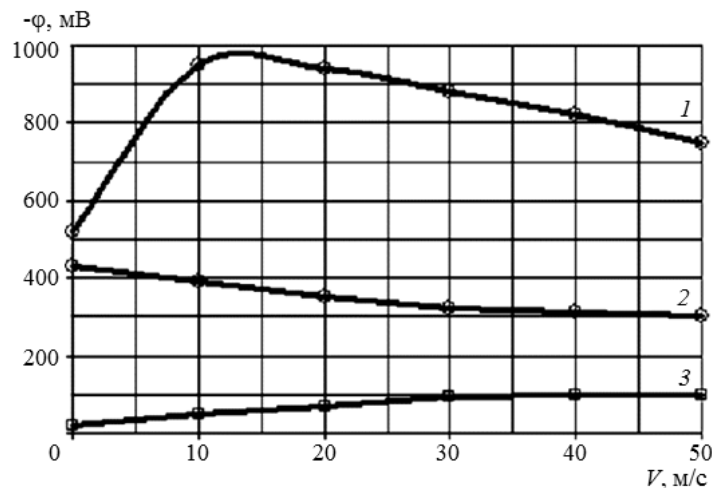


Рис. 2. Влияние скорости потока морской воды на стационарные потенциалы металлов:
1 – алюминиевый сплав АМг61; 2 – сталь 25Л; 3 – бронза АЖН9-4-4

Так, при изменении скорости потока морской воды с 0 до 50 м/с стационарный потенциал стали 25Л смещается в сторону положительных значений на 150 мВ (с -450 до -300 мВ), бронзы АЖН9-4-4 – в сторону отрицательных значений на 60 мВ (с -40 до -100 мВ), алюминиевого сплава АМг61 при увеличении скорости движения воды с 0 до 10 м/с – смещается сначала в область отрицательных значений на 430 мВ (с -520 до -950 мВ), после чего с увеличением скорости потока происходит его облагораживание на 200 мВ (с -950 до -750 мВ).

Установлено также, что стационарные потенциалы вышеуказанных металлов с повышением температуры морской воды сдвигаются в область отрицательных значений. Величина этих смещений составляет: 100 мВ – для алюминиевого сплава АМг61; 70 мВ – для стали 25Л; 70 мВ – для бронзы АЖН9-4-4.

В результате этого бронзы имеют ограничение по работе в потоке морской воды, скорость которого составляет от 18 до 24 м/с или менее. Для медно-никелевых сплавов

такое ограничение составляет от 12 до 15 м/с. Указанные пределы скорости потока снижаются, если в системе присутствуют твердые тела или снижается рН. Это особенно справедливо в загрязненной морской воде, а также в присутствии сероводорода. Скорости коррозии углеродистой стали, железа и бронзы в морской воде значительно возрастают с увеличением скорости потока (рис. 2) [33].

В работе [34] представлены результаты испытаний в движущейся морской воде образцов из алюминиевого сплава АМг61, сопряженных с образцами из бронзы АЖН9-4-4, стали 25Л, коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т и титанового сплава ЗВ. Соотношение контактируемых площадей поверхностей образцов принимали 1:1. Скорости потока морской воды составляли 10, 20, 30 и 50 м/с. Выявили преимущественно одиночные питтинговые поражения поверхности при скорости потока морской воды 10–30 м/с. При тех же сопряжениях и скорости потока 50 м/с характер коррозии меняется на язвенный. Установлено, что алюминиевый сплав АМг61 без контакта с другими металлами обладает высокой коррозионной стойкостью как в спокойной, так и в движущейся морской воде. Однако присутствие катодного металла значительно ее снижает. Скорость коррозии (K) алюминиевого сплава возрастает с увеличением скорости потока воды (см. таблицу). Таким образом, показано, что в потоке морской воды процесс разрушения алюминиевого сплава, сопряженного с более благородными металлами, происходит с большей интенсивностью [33].

Коррозионное поведение алюминий-магниевого сплава АМг61, сопряженного с бронзой АЖН9-4-4, сталью 25Л, коррозионностойкой сталью 12Х18Н10Т и титановым сплавом ЗВ при различной скорости потока морской воды (продолжительность выдержки 180 ч при температуре воды 6°С)

V, м/с	φ, мВ	i, А/м ²	K, мм/год		ΔK=K _B -K _i , мм/год	ΔK, %	Максимальная глубина питтингов, мкм	Количество питтингов на 1 см ² поверхности образца
			по потерям массы K _B	по току K _i (вычисленная)				
С бронзой АЖН9-4-4								
10	440	1,04	1,3	1,2	0,1	7,7	200	150
20	500	2,8	3,1	2,95	0,15	4,8	370	190
30	430	6,0	6,8	6,4	0,4	5,9	420	80
50	400	8,3	11,3	8,7	2,6	22,6	–	Язвы диаметром 0,7–0,9 мм
Со сталью 25Л								
10	550	0,5	0,6	0,53	0,07	11,7	140	130
20	530	0,9	1,1	0,95	0,15	13,6	190	160
30	510	1,4	1,6	1,35	0,25	15,6	220	70
50	420	3,5	7,0	3,7	3,3	47,1	–	Язвы диаметром 0,5–0,7 мм
Со сталью 12Х18Н10Т								
10	560	0,38	0,42	0,4	0,02	4,7	130	70
20	560	0,9	1,05	0,95	0,1	9,5	150	90
30	560	1,3	1,5	1,3	0,2	13,3	220	30
50	600	3,15	4,45	3,35	1,05	23,9	–	Язвы диаметром 0,5–0,7 мм
Со сплавом ЗВ								
10	560	0,37	0,42	0,4	0,02	4,7	130	40
20	610	0,7	0,86	0,8	0,06	6,9	180	60
30	550	1,4	1,62	1,49	0,13	8,0	230	20
50	600	1,9	2,1	2,0	0,3	13,0	–	Язвы диаметром 0,5–0,7 мм

Примечание. Стационарный потенциал алюминиевого сплава без контакта с металлами при различной скорости потока морской воды: φ₁₀=–950 мВ, φ₂₀=–930 мВ, φ₃₀=–800 мВ, φ₅₀=–740 мВ; скорость коррозии соответственно составляет K₀=0,01 мм/год, K₁₀=0,25 мм/год, K₂₀=0,32 мм/год, K₃₀=0,5 мм/год, K₅₀=2,5 мм/год.

При скорости движения воды до 30 м/с, а также в спокойной морской воде разрушение всех применяемых в судостроении конструкционных алюминиевых сплавов может быть практически полностью предотвращено катодной поляризацией. При увеличении скорости движения воды возрастает влияние механического износа поверхности.

В результате можно сделать вывод о том, что приведенные результаты испытаний и исследований металлических материалов необходимы в первую очередь в судостроительной отрасли, но могут использоваться и в гидроавиации. Аналогичные исследования в высокоскоростном потоке морской воды параллельно с разработкой методологического аспекта необходимо развивать и продолжать как для вновь разрабатываемых материалов, так и для поиска новых средств защиты уже внедренных сплавов. Значительное внимание необходимо уделять и разработке новых испытательных установок для проведения испытаний в движущейся морской воде с уменьшением их энергоемкости.

Заключения

На основе проведенного анализа научно-технических литературных данных можно определить следующие направления в области разработки методик исследования стойкости конструкционных и функциональных материалов в условиях воздействия морской воды.

Для получения данных по прогнозированию ресурса безопасной работы всех узлов и агрегатов морской авиации и предварительному подтверждению климатического исполнения изделий, а также для определения сроков сохраняемости свойств, необходимо проведение испытаний и исследований в условиях, наиболее полно и достоверно имитирующих эксплуатационные, а именно – на образцах, имитирующих соединения разнородных материалов, испытания необходимо проводить в движущейся морской воде, на различных глубинах в естественной морской воде, в том числе при одновременном воздействии механических нагрузок.

Необходима разработка испытательных стендовых установок для воспроизведения условий испытаний, имитирующих эксплуатационное воздействие, единых согласованных с зарубежными стандартов на проведение испытаний в морской воде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лаптев А.Б., Бугай Д.Е., Александров А.А., Ларионов В.И. Экологические и биологические факторы воздействия на сложные технические системы // Безопасность в техносфере. 2017. Т. 6. №4. С. 21–30.
2. Лаптев А.Б., Колпачков Е.Д., Курс М.Г., Лебедев М.П., Луценко А.Н. Разработка методики определения ресурса эксплуатации конструкций из полимерных композиционных материалов // Пластические массы. 2018. №9–10. С. 36–40.
3. Каблов Е.Н., Щетанов Б.В., Гращенков Д.В., Шавнев А.А., Няфкин А.Н. Металломатричные композиционные материалы на основе Al–SiC // Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 373–380.
4. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
5. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Медведев И.М. Обзор зарубежного опыта исследований коррозии и средств защиты от коррозии // Авиационные материалы и технологии. 2015. №2 (35). С. 76–87. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-2-76-87.

6. Курс М.Г., Каримова С.А. Натурно-ускоренные испытания: особенности методики и способы оценки коррозионных характеристик алюминиевых сплавов // *Авиационные материалы и технологии*. 2014. №1. С. 51–57. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-1-51-57.
7. Корогодова И.В., Бойко И.Н. Актуальные проблемы защиты двигателей от возникновения коррозии, эксплуатируемых на самолетах в морских условиях и базирующихся на прибрежных аэродромах // *Потенциал современной науки*. 2015. №1 (9). С. 25–31.
8. Варченко Е.А., Курс М.Г. Натурные испытания металлических материалов в морской воде: ключевые подходы к оценке стойкости к коррозии и биоповреждению // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* 2017. №11 (59). Ст. 12. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 15.11.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-11-12-12.
9. Лаптев А.Б., Луценко А.Н., Курс М.Г., Бухарев Г.М. Опыт исследований биокоррозии металлов // *Практика противокоррозионной защиты*. 2016. №2 (80). С. 36–57.
10. Бухарев Г.М., Лаптев А.Б., Яковенко Т.В., Бобырева Т.В. Роль оценки биологического фактора в обеспечении безопасной эксплуатации сложных технических систем в течение жизненного цикла // *Климат-2017. Проблемы оценки климатической стойкости материалов и сложных технических систем: сб. докл. II Всерос. науч.-технич. конф.* М.: ВИАМ, 2017. С. 21–30 (CD).
11. Ковальчук Ю.Л., Ильин И.Н., Полтаруха О.П. О некоторых особенностях распределения организмов обрастания на судах и буйковых станциях в морской среде // *Вода: химия и экология*. 2012. №3. С. 59–64.
12. *Морская коррозия: справочник*. Пер. с англ. / под ред. М. Шумахера. М.: Metallurgia, 1983. 512 с.
13. Немцева Э.П., Супрун Л.А., Фельдман Л.А. и др. *Справочник судоремонтника-корпусника*. М.: Транспорт, 1970. 320 с.
14. Архангородский А.Г., Розендент Б.Я., Семенов Л.Н. *Прочность и ремонт корпусов промышленных судов*. Л.: Судостроение, 1982. 272 с.
15. Михеев А.И. Влияние обрастания и низких температур на безопасную эксплуатацию судов // *Водный транспорт*. 2013. Вып. 3. С. 56–61.
16. Шкабара Н.А. Эколого-технологическое изучение покрытия барьерного типа для защиты от коррозии и морского обрастания нефтегазопроводов, плавучих средств и портовых сооружений (на примере Геленджикской бухты): автореф. дис. ... канд. техн. наук. Краснодар. 2015. 113 с.
17. Петрова Н.Е., Баева Л.С. Биокоррозия корпусов судов // *Вестник МГТУ*. 2006. Т. 9. №5. С. 890–892.
18. Laptev A., Kurs M., Lonskaya N., Davydov D., Averina A. Investigation of corrosion damage of hydration aluminium alloys at full-scale accelerated tests // *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. Vol. 7 (4). P. 5061–5066.
19. Лаптев А.Б., Навалихин Г.П. Повышение безопасности эксплуатации промышленных нефтепроводов // *Нефтепромышленное дело*. 2006. №1. С. 48–52.
20. Sadawy M.M., Heseinov R.Q., Shirinov T.I. Corrosion and electrochemical behavior of austenitic-ferritic stainless steel in sulfuric acid // *Neftin, qazm geotexnoloji problemlari va kimya. ET& Elmi asarlarig Bakig*. 2009. P. 327–332.
21. Sharifov Z.Z. Ways of Increase of corrosion resistance provider materials // *Journal of Metallurgy*. 2002. Vol. 8. Is. 2. P. 7.
22. Sadawy M.M., Shirinov T.I., Heseinov R.Q. The effect of heat treatment on the corrosion and electrochemical properties of ferric-austenitic stainless steel in sulfuric acid soluteon // *Тр. Междунаур. форума «Наука и инженерное образование без границ»*. Алматы: КазНТУ им. К.И. Сатпаева, 2009. Т. 1. С. 496–499.
23. Sharifov Z.Z. Improvement of a corrosion stability of composite materials on the ferrum's base. International valium of scientific lab our // *Progressive Technology and Machine building systems*. 2002. Vol. 19. P. 7.
24. Баширов Ф.Р. Коррозионное поведение сварных соединений из стали РСД32 в каспийской морской воде // *Вестник МГУ. Сер.: Судостроение и судоремонт*. 2014. Т. 64. С. 5.

25. Староконь И.В. О влиянии коррозионного воздействия на развитие усталостных трещин на морских нефтегазовых сооружениях (МНГС) // *Фундаментальные исследования*. 2012. №11-5. С. 1214–1219.
26. Маркович Р.А., Кан М.К., Михайлов С.В. Коррозия и методы защиты зоны переменного смачивания металлоконструкций гидротехнических сооружений эстакадного типа // *Гидротехника*. 2014. №4. С. 71.
27. Люблинский Е.Я. Коррозия и защита судов: справочник. Л.: Судостроение, 1987. 376 с.
28. РД31.28.10–97. Комплексные методы защиты судовых конструкций от коррозии. Л.: ЦНИИМФ, 1997. 122 с.
29. Сорокин А.И. Исследование процесса разрушения алюминиевого сплава от контактной коррозии в высокоскоростном потоке морской воды // *Вісник СевНТУ*. 2012. Сер.: Механіка, енергетика, екологія. Вип. 132. С. 135–141.
30. Сорокін А.І. Параметри електрохімічного захисту суднобудівних металів від контактної корозії // *Зб. наук. праць СВМІ*. Севастополь, 2006. Вип. 1 (9). С. 78–84.
31. Ваганов А.М. Проектирование скоростных судов. Л.: Судостроение, 1978. 279 с.
32. Подгорный Ю.И., Сорокин А.И. Коррозионно-эрозионная стойкость и электрохимическое поведение некоторых судостроительных сплавов в быстродвижущейся морской воде // *Состояние и перспективы создания и внедрения коррозионностойких материалов, средств и методов противокоррозионной защиты судов: тез. докл. второго науч.-техн. совещания (Ленинград, дек. 1982 г.)*. Л., 1982. С. 53–55.
33. Morrow S.J. Materials selection for seawater pumps // *Proceedings of the 26 International Pump Users Symposium*, 2010. P. 73–80.
34. Melchers R.E. Effect of temperature on the marine immersion corrosion of carbon steels // *Corrosion (NACE)*. 2002. Vol. 58 (9). P. 768–782.