

УДК 620.193

DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-2-76-87

*Е.Н. Каблов<sup>1</sup>, О.В. Старцев<sup>1</sup>, И.М. Медведев<sup>1</sup>***ОБЗОР ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА ИССЛЕДОВАНИЙ  
КОРРОЗИИ И СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ**

*Выполнен обзор зарубежных исследований коррозии и средств защиты от коррозии различных металлов и сплавов. Наиболее подробно рассмотрены исследования в области микробиологической коррозии, механизмов и методов исследования коррозии, а также коррозия в авиации. В большинстве зарубежных исследований используются ускоренные испытания и электрохимические методы. Единичные работы посвящены математическому моделированию процессов разрушения материалов под действием окружающей среды.*

**Ключевые слова:** коррозия, механизмы коррозии, защитные покрытия, атмосферная коррозия, микробиологическая коррозия.

*The review of international research in corrosion and corrosion protection of various metals and alloys is performed. The research in the area of microbial corrosion, mechanisms and methods of corrosion study as well as the corrosion in aviation are considered in details. Most of the foreign investigations are using accelerated corrosion testing and electrochemical methods. A few works are dedicated to mathematical modelling of degradation processes under the impact of environmental factors.*

**Keywords:** corrosion, corrosion mechanisms, protective coatings, atmospheric corrosion, microbial corrosion.

<sup>1</sup>Федеральное 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**

Коррозия наносит существенный ущерб мировой экономике. По уточненным данным [1] ежегодные прямые мировые потери от коррозии оцениваются в 1,8 трлн долларов, а в таких странах, как США, Великобритания, Германия, достигают 3% валового внутреннего продукта [2]. Последняя оценка коррозионных потерь в нашей стране относится к 1969 году: 6,7 млрд долларов или 2% ВВП. При этом четвертой части потерь можно было бы избежать, если использовать научно обоснованные методы защиты материалов от агрессивного воздействия климатических факторов [3]. С учетом колоссальных потерь от коррозии развитые страны вкладывают миллиарды долларов в исследования коррозии, создают специализированные центры и испытательные площадки для проведения коррозионных испытаний как в лабораторных, так и в натуральных условиях.

В предыдущие годы в нашей стране проблеме испытаний материалов в природных средах уделялось серьезное внимание. С первого года своего образования в 1932 году Всесоюзный институт авиационных материалов (ВИАМ) проводил натурные коррозионные испытания материалов и внес существенный вклад в науку о коррозии [4–8]. Первые коррозионные испытания на берегу Азовского моря были проведены в 1927 году выдающимся ученым Г.В. Акимовым [4]. В 1947 году по его инициативе в наиболее представитель-

ных климатических зонах СССР была создана инфраструктура, представляющая собой сеть климатических станций Академии наук СССР, машиностроительных отраслей и военно-промышленного комплекса.

Новые возможности исследования коррозии открылись после ввода в эксплуатацию в 2009 году Геленджикского центра климатических испытаний им. Г.В. Акимова (ГЦКИ ВИАМ) – филиала ФГУП «ВИАМ» [9], который размещен на берегу Геленджикской бухты и относится к климатическим испытательным станциям берегового типа с повышенной коррозионной агрессивностью атмосферы. Он оснащен оборудованием для прочностных испытаний, металлографии, электрохимических исследований, неразрушающих методов контроля. В дополнение к атмосферным испытательным стендам имеются камеры для моделирования и усиления климатических факторов воздействия. Область аккредитации ГЦКИ ВИАМ включает в себя проведение натуральных испытаний в атмосфере, морской воде и лабораторных испытаний на стойкость к коррозии, старению и биоповреждениям материалов и сложных технических систем. В настоящее время ГЦКИ ВИАМ является центром климатических испытаний с развитой инфраструктурой и современным исследовательским оборудованием, позволяющим получать новые сведения о закономерностях старения и коррозии в приморской атмосфере [10–18].

В данной работе на основе материалов Международной конференции EUROCORR-2014 (8–12 сентября 2014 года, г. Пиза, Италия) представлен обзор зарубежного опыта исследований коррозии и средств защиты от коррозии.

### **Коррозия в авиации и космических аппаратах**

На ближайший трехлетний период наиболее актуальными направлениями европейских исследований коррозии являются:

- «зеленые» методы защиты материалов;
- исследование механизмов коррозии, моделирование свойств материалов и средств защиты в процессе длительной эксплуатации;
- разработка новых методов коррозионных испытаний, приближенных к условиям эксплуатации;
- коррозия гибридных материалов и конструкций;
- коррозионная стойкость новых авиационных алюминиевых сплавов;
- защита магниевых сплавов;
- моделирование свойств авиационных элементов конструкций под воздействием факторов эксплуатации и коррозии.

В связи с широким внедрением гибридных структур, состоящих из различных материалов, возросла актуальность исследований коррозионной стойкости как отдельных материалов, так и их соединений.

Рассмотрим отдельные примеры выполненных исследований гибридных систем. Для нужд автомобильной и авиационной промышленности была исследована коррозионная стойкость заклепочных соединений «углепластик–алюминиевый сплав» с защитным цинковым покрытием [19]. Для испытаний выбран метод циклических ускоренных испытаний VDA621-415 (рис. 1). После проведения одного цикла испытаний, образцы подвергались 2,16 млн циклов нагружения. Показано, что приложении циклических нагрузок значительно ускоряет разрушение соединений и способствует проникновению агрессивной среды в соединения (шесть циклов по методу VDA621-415 эквивалентны одному году ускоренных испытаний) [19].

В связи с большим интересом к применению аддитивных технологий, итальянскими исследователями оценена коррозионная стойкость алюминиевых сплавов системы Al–Si–Mg, полученных методом прямого лазерного спекания. Показано, что использование аддитивной технологии лазерного спекания может приводить к повышенной чувствительности алюминиевого сплава к коррозии [20].

Важной задачей является не только создание новых, коррозионностойких материалов, но и совершенствование методов оценки коррозионной агрессивности среды, таких как измерение продолжительности увлажнения поверхности. С этой целью проведены исследования продолжительности увлажнения в условиях умеренно теплого морского климата [21]. Показано несоответствие

продолжительности увлажнения, определяемой по методике ГОСТ, ISO и по датчику продолжительности увлажнения Davis.

Получены экспериментальные подтверждения влияния деградации датчиков продолжительности увлажнения на их показания. Под действием коррозионно-агрессивной атмосферы происходит деградация датчиков продолжительности увлажнения: изменяется сопротивление дорожек, продукты коррозии изменяют кинетику «увлажнения–сушки» поверхности датчика (рис. 2). Выходной сигнал датчика после 6 лет эксплуатации значительно отличается от выходного сигнала нового датчика, что объясняется изменением электрического сопротивления, обусловленного продуктами коррозии [21].

В реальных условиях эксплуатации коррозионная агрессивность окружающей среды усиливается антропогенными факторами, такими как использование антиобледенительных реагентов. Новые антиобледенители на основе ацетата калия и формиата натрия, используемые на военных аэродромах Норвегии, оказались коррозионно-агрессивными к кадмиевым покрытиям (рис. 3) и фрикционным углерод-углеродным материалам [22].

Большая часть исследований в области защиты авиационной и космической техники от коррозии посвящена созданию и испытаниям новых покрытий, в то время как разработке новых коррозионностойких сплавов уделяется меньшее внимание. В качестве стандартного тестового материала в большинстве исследований используется алюминиевый сплав 2024 – аналог сплава 1163. Основное внимание в разработке новых покрытий направлено на увеличение коррозионной стойкости и повышение экологической безопасности производства и эксплуатации покрытий. Значительное внимание уделено созданию покрытий с добавлением ингибиторов коррозии [23–28].

Обращает на себя внимание то, что большинство работ посвящено решению конкретных узких задач, в то время как недостаточно обобщающих исследований по моделированию и прогнозированию коррозионной стойкости материалов авиационного и космического назначения.

### **Механизмы и методики исследования коррозии**

Кроме оценки стандартных интегральных свойств материала: скорости коррозии, прочности, глубины межкристаллитной коррозии и др., зарубежными исследователями подробно изучаются причины коррозионного разрушения на макро- и микроуровнях с целью раскрытия механизмов коррозии для оптимизации коррозионной стойкости материалов. В таких исследованиях широко используются оптическая микроскопия [29–31], сканирующая электронная микроскопия [32–35], локальные электрохимические методы [36], такие как метод сканирующего вибрирующе-

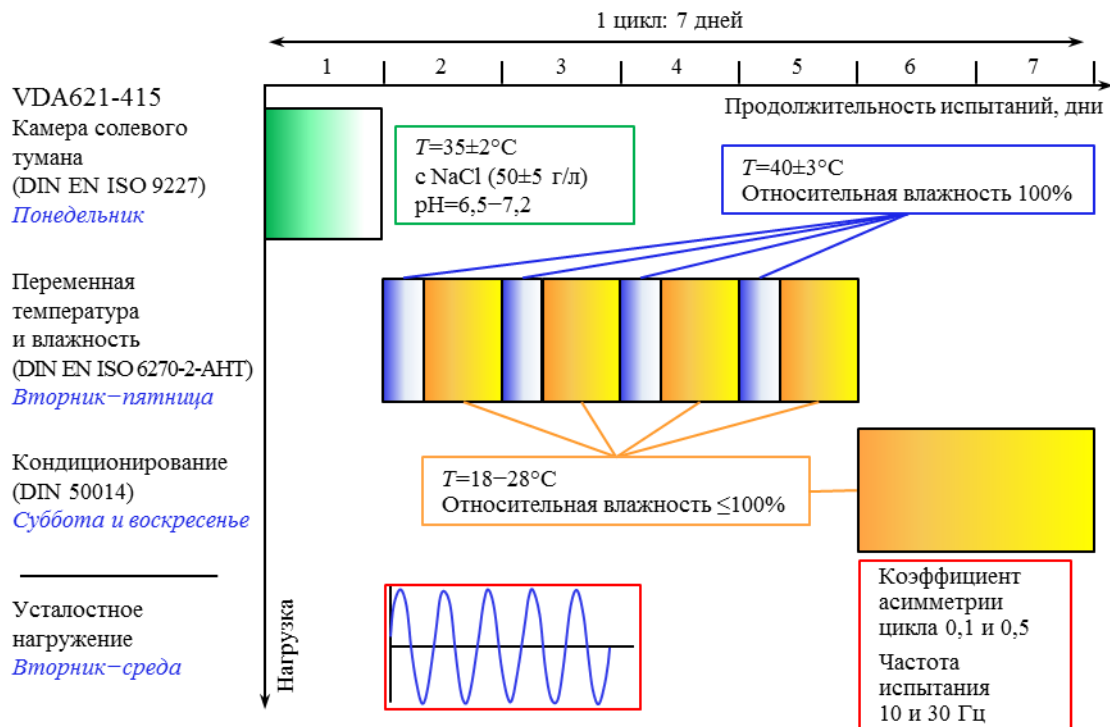


Рис. 1. Схема испытаний в соответствии с методом VDA621-415 [19]

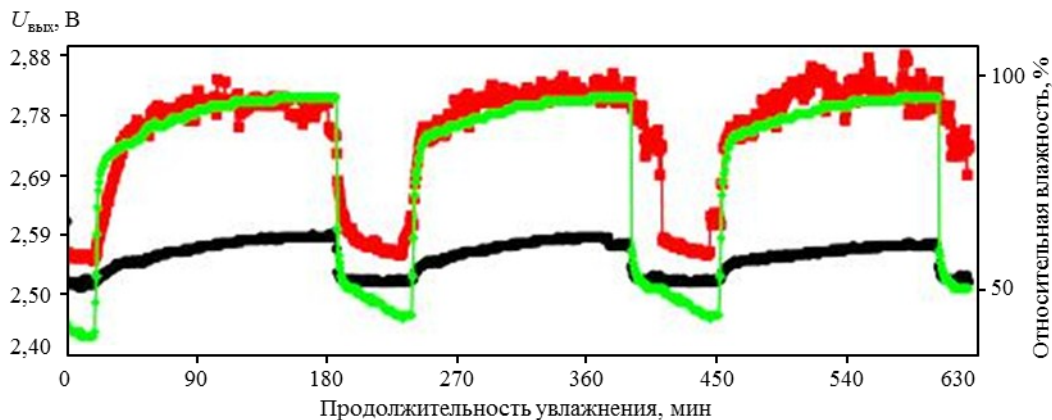


Рис. 2. Сравнение выходного сигнала  $U_{\text{вых}}$  датчиков продолжительности увлажнения Davis [21]:  
● – новый датчик; ■ – датчик после 6 лет эксплуатации; ◆ – относительная влажность

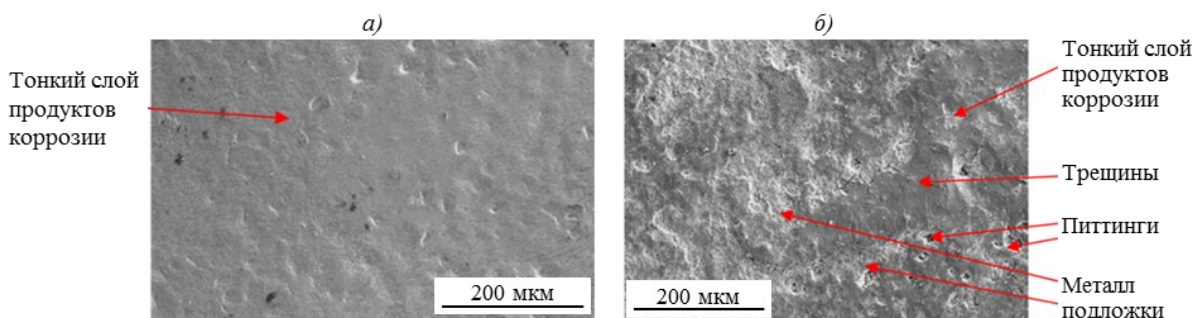


Рис. 3. Сравнение морфологии поверхности кадмиевого покрытия на стали после воздействия антиобледенителей на основе мочевины (а) и ацетата (б) [22]

го зонда [29, 31, 35] и зонда Кельвина [37–39]. Для анализа продуктов коррозии широко применяются различные спектроскопические методики: рамановская спектроскопия [40–42], ИК спектроскопия [42], электрохимическая импедансная спектроскопия [43, 44], энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия [35, 45].

Использование электрохимических методов позволяет выявлять и контролировать процессы зарождения и развития питтингов и локальных коррозионных поражений в режиме реального времени. Например, при исследовании коррозионных поражений в дуплексной стали марки 2205 [46] выявлено, что прокатка меняет характер и локализацию коррозионных поражений (рис. 4). После холодной прокатки сталь становится более склонной к развитию коррозионных процессов, что подтверждается исследованиями микроструктуры и локальным электрохимическим анализом с использованием зонда Кельвина (см. рис. 4).

Использование электрохимических методов позволяет не только выявлять локализацию коррозионных поражений, но и исследовать стадии коррозионного процесса. Контроль накопления кумулятивного заряда и электрохимического шума (рис. 5) позволил изучить основные стадии коррозионного процесса стали марки 17-4 PH: инкубационный период, начало электрохимических процессов и коррозионного растрескивания, зарождение небольших трещин, возникновение протяженных трещин и разрушение материала [47].

Использование современных электрохимических методов позволяет изучать процессы зарождения и развития питтингов в режиме реального времени [48]. Электрохимические методы эффективны для мониторинга состояния органических покрытий [49, 50] в процессе эксплуатации [51].

Методами электрохимической микроскопии (рис. 6) на количественном уровне изучено изменение переноса заряда в районе образования питтинга: первые 2 мин электрохимическое состояние поверхности сопоставимо с исходным, а затем происходит резкий рост и стабилизация разности потенциалов [48].

Большая часть исследований в области механизмов и методик исследования коррозии посвящена исследованию механизмов коррозионного разрушения на микроуровне. Важно отметить, что практически во всех исследованиях используются ускоренные коррозионные испытания, хотя многие авторы отмечают невысокую достоверность выводов, полученных по результатам испытаний без натурной экспозиции [52].

### Покрытия

Повышенное внимание современных исследователей обращено на разработку и анализ новых противокоррозионных покрытий. Среди большого количества исследований по покрытиям особый интерес представляют следующие темы:

- «зеленые технологии» [53];
- анодирование алюминиевых и магниевых сплавов [54, 55];
- супергидрофобные покрытия [56];
- модификация покрытий при добавлении ингибиторов коррозии [57, 58];
- снижение водопроницаемости полимерных покрытий [59];
- мониторинг состояния покрытий в режиме реального времени с использованием инфракрасной, рамановской спектроскопии и электрохимических методов [60, 61];
- самозалечивающиеся покрытия [58, 62];
- нетоксичные противообрастающие покрытия [63].

Отдельно следует отметить исследование, посвященное модификации покрытий микрокапсулами [58], которые могут содержать как ингибиторы коррозии, так и индикаторы коррозионного процесса (рис. 7).

В большинстве исследований защитных свойств покрытий также широко используются ускоренные методы испытаний и электрохимические методы контроля [49, 50, 64]. Единичные работы посвящены математическому моделированию процессов производства покрытий и разрушения покрытий под действием окружающей среды [65–67].

### Сенсоры коррозии

Традиционным подходом в измерениях коррозии в режиме реального времени является измерение сопротивления пластинки или фольги из тестируемого материала. Например, специалисты из университета Хоккайдо предложили использовать цинковую пленку для мониторинга атмосферной коррозии [68]. Выполнены испытания тестируемых образцов в климатической камере (рис. 8). Актуальной проблемой использования сенсоров коррозии является их деградация. По данным работы [69] в коррозионно-агрессивной атмосфере туннеля в г. Прага резистивные сенсоры коррозии вышли из строя менее чем через год эксплуатации (рис. 9). Для оценки коррозионной агрессивности среды разрабатываются различные датчики. Японской фирмой Hitachi разработан сенсор сульфидов в атмосфере [70] на основе серебра (рис. 10).

### Микробиологическая коррозия

Для моделирования коррозии сталей в морской среде при длительном воздействии исследовано влияние растворенного неорганического азота в морской воде на коррозию в Австралии, на военно-морских базах США, в Японии, Великобритании и Норвегии [71]. Показано, что после 3 лет воздействия хорошо выражен вклад биологического фактора в развитие коррозии (показан пунктирной линией на рис. 11). Эксперименты показали, что морское обрастание различно в открытом море и в прибрежной зоне.

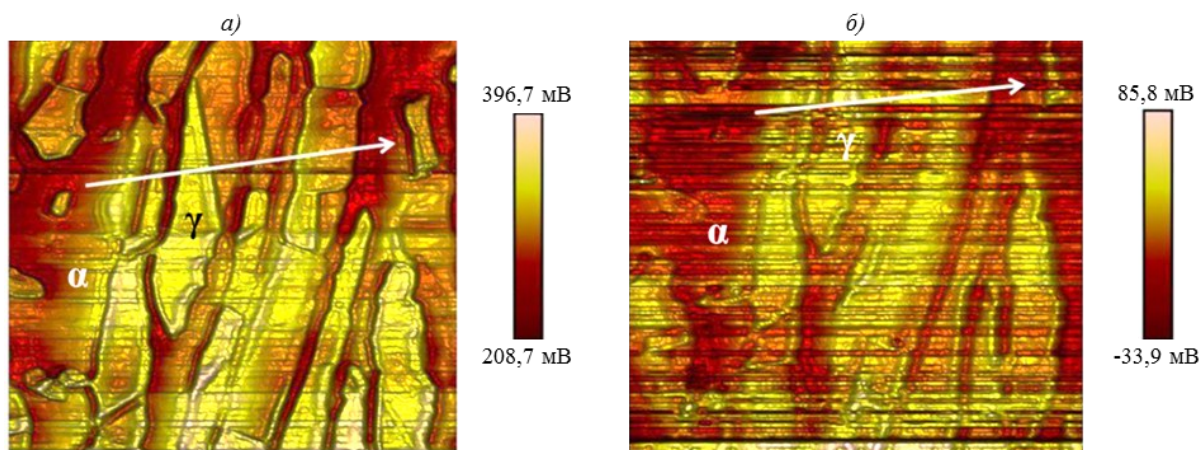


Рис. 4. Профиль потенциалов на поверхности дуплексной стали, полученный с использованием зонда Кельвина при относительной влажности 40 (а) и 85% (б) [37]

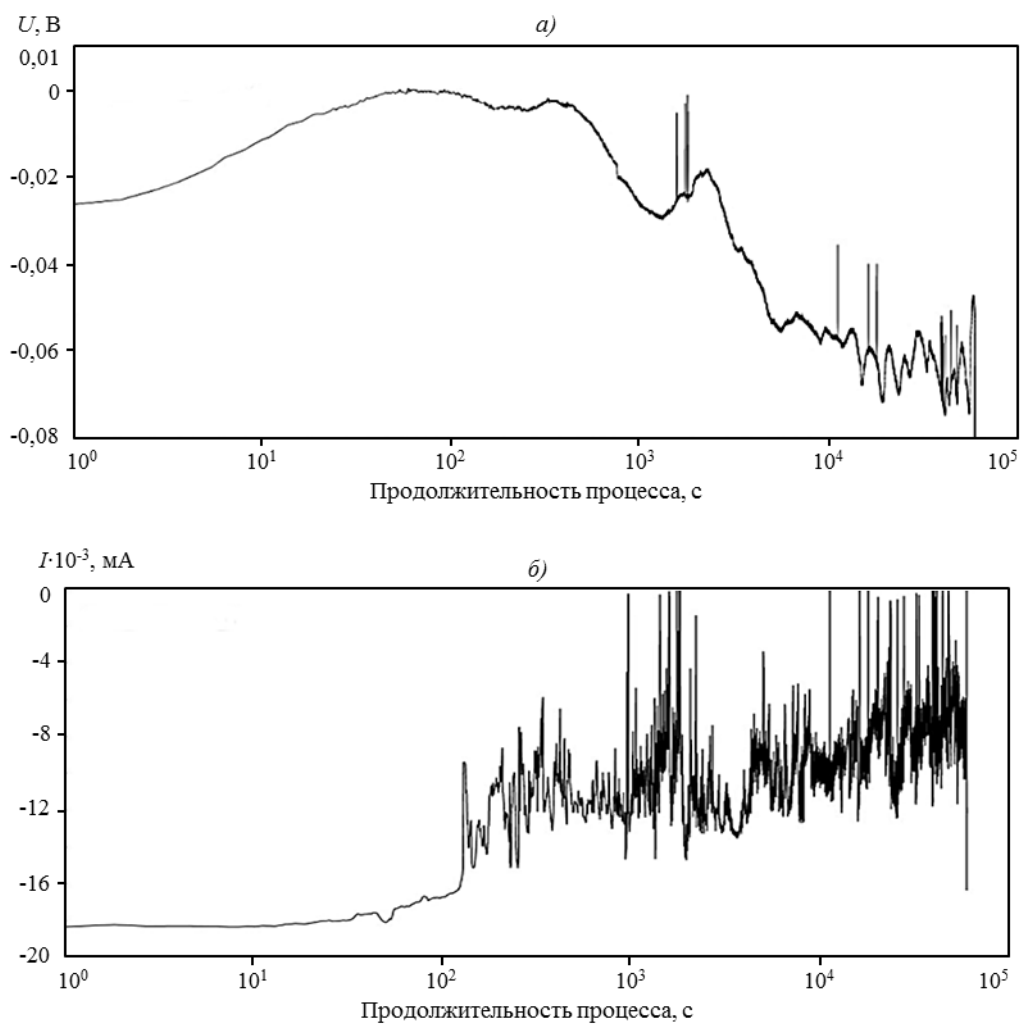


Рис. 5. Потенциал (а) и ток (б) электрохимического шума [47]

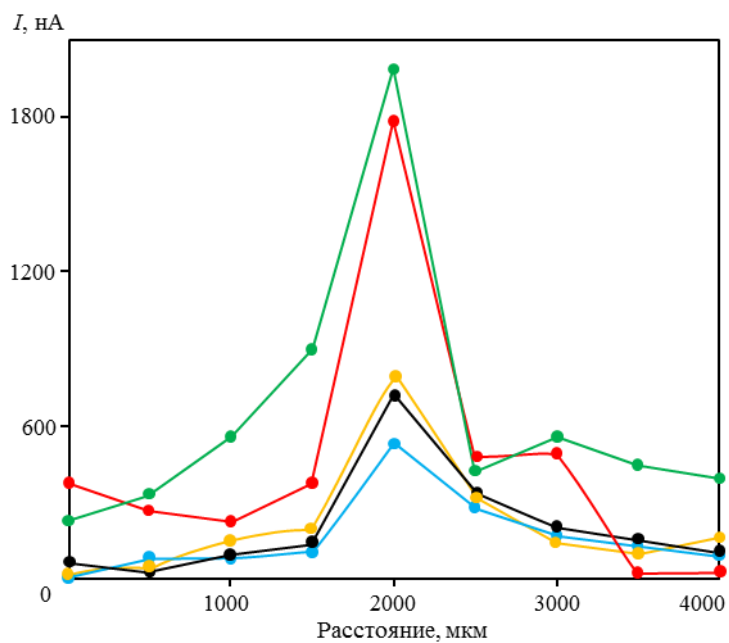


Рис. 6. Изменение профиля потенциала поверхности стали AlSi 304 в процессе образования питтинга [48]:  
 ● – в исходном состоянии и через 1 (●); 2 (●); 3 (●) и 4 мин (●)

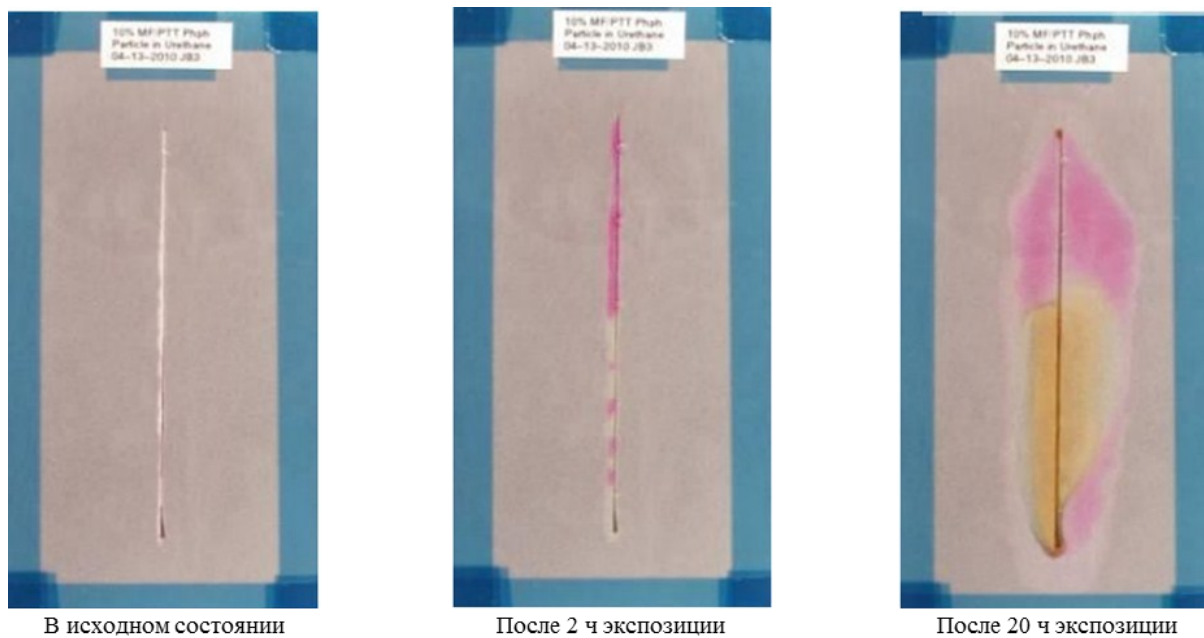


Рис. 7. Покрyтия с цветовой индикацией протекания коррозионных процессов при погружении образца с надрезом в солевой раствор [58]

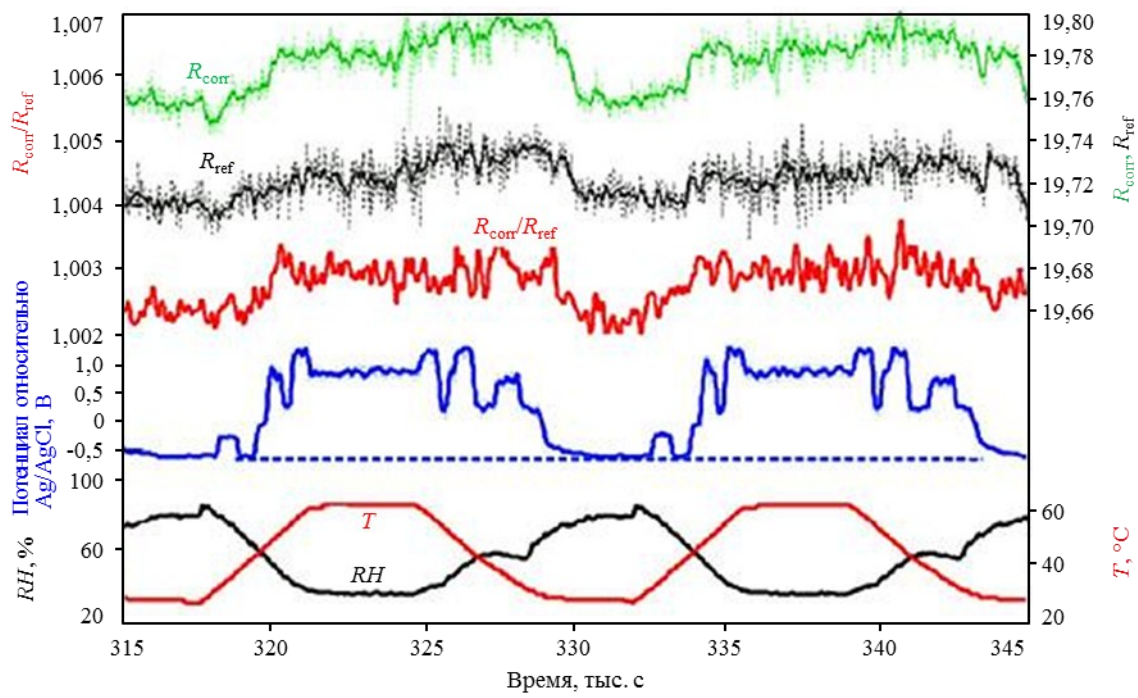


Рис. 8. Сравнение сопротивления цинковой пленки и термовлажностных условий [68]



Рис. 9. Резистивные сенсоры коррозии, используемые для оценки коррозионной агрессивности атмосферы в туннелях г. Прага [69]

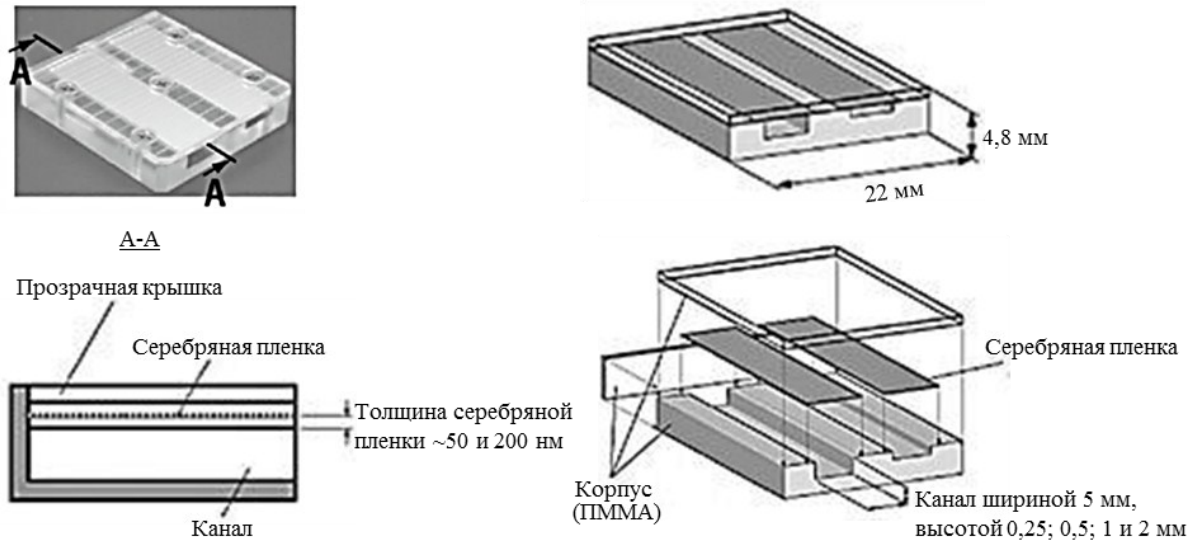


Рис. 10. Устройство сенсора содержания сульфидов в атмосфере [70]

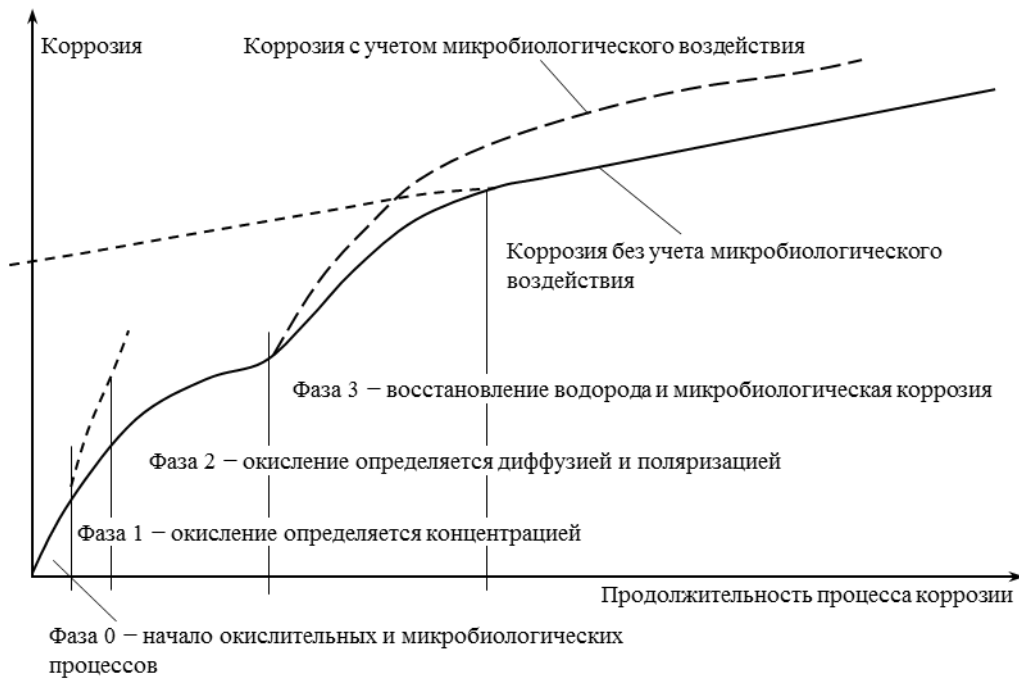


Рис. 11. Стадии при развитии коррозии в морской среде [71]



К числу наиболее актуальных вопросов исследования микробиологической коррозии относится оценка вклада биологического фактора в суммарный коррозионный процесс. Показано [72], что наличие микроорганизмов значительно изменяет электрохимические свойства углеродистой стали и увеличивает скорость коррозии более чем в 2 раза. С помощью импедансной спектроскопии исследователи из университета Делфта выявили вклад биологического фактора в коррозию углеродистой стали в морской воде [73].

Практически во всех работах исследуется исключительно бактериальная коррозия. Это указывает на то, что именно этот вид коррозии является наиболее разрушительным для исследованных сплавов. Данный вид бактериального воздействия характерен для пресной и морской воды, почвы, топлив. Бактериальная коррозия может протекать при pH среды от 1 до 10,5 и температуре 6–40°C при наличии различных органических и неорганических веществ, содержащих кислород, углерод, водород, железо, азот, калий, серу и т. д., а также при воздействии электромагнитных полей и радиоактивных излучений. Бактерии не только стимулируют коррозионный процесс, но и непосредственно разрушают материалы. К биологическим повреждениям относятся: химическое разрушение материалов, прямое разрушение микроорганизмами, кор-

розионное электрохимическое разрушение, комплексное воздействие (одновременное влияние микроорганизмов, продуктов их жизнедеятельности и переменных климатических условий).

Для защиты конструкций от биологической коррозии используют обработку поверхности изделий бактерицидными средствами, содержащими хлор, формалин и т. п., а также добавки серебра и других ионов металлов. Часто бактерицидные вещества вводят в состав лакокрасочных материалов и других видов покрытий. Для защиты от биокоррозии также используют катодную защиту.

### Заключение

Проведенный анализ зарубежного опыта показывает актуальность работ ФГУП «ВИАМ» по разработке комплексной антикоррозионной защиты и проведению климатических испытаний, предусмотренных в «Стратегических направлениях развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» [74].

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Соглашения о предоставлении субсидии №14.595.21.0002 от 22.08.2014 г. (уникальный идентификатор №RFMEFI59514X0002) с использованием оборудования ЦКП «Климатические испытания ФГУП „ВИАМ“».

### ЛИТЕРАТУРА

1. Schütze M., Hays G.F., Burns W., Han E., Pourbaix A., Jacobson G. Global Needs for Knowledge Development in Materials Deterioration and Corrosion Control. 2009.
2. Revie R. Uhlig's Corrosion Handbook //Uhlig's /ed. Revie R.W. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2011. P. 15–20.
3. Koch G.H., Brongers M.P.H., Thompson N.G., Virmani Y.P., Payer J.H. Corrosion costs and preventive strategies in the United States //Washington DC. Washington D.C.: FHWA. 2001.
4. Каблов Е.Н., Петрова А.П., Нарский А.Р. Г.В. Акимов – создатель отечественной науки о коррозии //История науки и техники. 2009. №11. С. 12–15.
5. Акимов Г.В. Теория и методы исследования коррозии металлов. М.-Л: Изд-во АН СССР. 1945. С. 414.
6. Акимов Г.В. Основы учения о коррозии и защите металлов. М.: Металлургиздат. 1946. С. 463.
7. Батраков В.П. Коррозия и защита материалов. М.: Оборонгиз. 1962. С. 196.
8. Братухин А.Г., Гурвич Л.Я. Коррозионная стойкость высокопрочных нержавеющей сталей. М.: Авиатехинформ. 1999. С. 208.
9. Каблов Е.Н., Кириллов В.Н., Жирнов А.Д., Старцев О.В., Вапиров Ю.М. Центры для климатических испытаний авиационных ПКМ //Авиационная промышленность. 2009. №4. С. 36–46.
10. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Кротов А.С., Кириллов В.Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. I. Механизмы старения //Деформация и разрушение материалов. 2010. №11. С. 19–27.
11. Гуняев Г.М., Каблов Е.Н., Алексахин В.М. Модифицирование конструкционных углепластиков углеродными наночастицами //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 5–11.
12. Старцев О.В., Медведев И.М., Курс М.Г. Твердость как индикатор коррозии алюминиевых сплавов в морских условиях //Авиационные материалы и технологии. 2012. №3. С. 16–19.
13. Медведев И.М., Старцев О.В. Исследование сезонной неэквивалентности коррозионной агрессивности атмосферы с использованием микромеханических свойств стали Ст3 //Коррозия: материалы, защита. 2014. №5. С. 1–4.
14. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Медведев И.М., Панин С.В. Коррозионная агрессивность приморской атмосферы. Ч. 1. Факторы влияния (обзор) //Коррозия: материалы, защита. 2013. №12. С. 6–18.
15. Курс М.Г., Каримова С.А., Махсидов В.В. Сравнение коррозионной стойкости деформируемых алюминиевых сплавов по результатам натурных и натурно-ускоренных испытаний под навесом //Вопросы материаловедения. 2013. Т. 1. №73. С. 182–190.

16. Титарева А.С., Кириллов В.Н., Старцев О.В. Поведение материалов в элементах конструкций авиационной техники, изготовленных с применением ПКМ и систем ЛКП в условиях умеренно теплого климата //Авиационные материалы и технологии. 2013. №S2. С. 81–85.
17. 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.
18. Ефимов В.А., Шведкова А.К., Коренькова Т.Г., Кириллов В.Н. Исследование полимерных конструкционных материалов при воздействии климатических факторов и нагрузок в лабораторных и натуральных условиях //Авиационные материалы и технологии. 2013. №S2. С. 68–73.
19. Gehrke J. Qualification of stress and test methods for use in combined fatigue algorithms for riveted joints //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
20. Pastore M., Cabrini S., Lorenzi T., Manfredi D., Biamino S. Corrosion resistance of direct metal laser sintering (DMLS) AlSiMg alloys //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
21. Startsev O.V., Medvedev I.M. Application of surface wetness sensors for the evaluation of corrosivity of the atmosphere to aerospace aluminium alloys //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
22. Bjørgum A., Kvernbråten A.-K., Støre A., Gustavsen T.A., Lohne P.I., Karlsen G.W. Effect of deicing compounds on aircraft materials //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
23. Tran T., Vimalanandan A., Fickert J., Landfester K., Crespy D., Rohwerder M. Design and analysis of multi-layer self-healing coatings tailored for smart corrosion protection //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
24. Verbruggen H., Lutz A., Terryn H., Graeve I. De. Encapsulation of corrosion inhibitors in a self-healing polymeric coating //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
25. Bonaccorsi L., Calabrese L., Capri A., Gulli G., Proverbio E. Assessment of corrosion performances of cerium based silane-zeolite coatings on AA6061 substrate //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
26. Falcón J.M., Sawcen T., Aoki I.V. Highly ordered mesoporous silica loaded with dodecylamine for active anticorrosion coatings //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
27. Firouzi A., Bianco A., Montesperelli G. Self healing organic coatings on aluminium alloy //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
28. Liu Y. et al. Mechanistic study of degradation of coil coated steel //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
29. Gnedenkov A., Sinebryukhov S., Mashtalyar D., Gnedenkov S. Corrosion features of the PEO-coated magnesium alloys //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
30. Amaral C., Ormiga F., Gomes J.A.C.P. Electrochemical induced dissolution of silver points in sodium fluoride solution //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
31. Shi W., Lyon S.B. Scanning vibrating electrode technique as a tool for investigating corrosion activities on coated mild steel in NaCl solutions //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
32. Santos D.C. Dos, Magnabosco R. Influence of intermetallic phase content and microstructure on pitting potential of a duplex stainless steel //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
33. Halamová M., Fumagalli G., Liptáková T., Bolzoni F. Influence of surface treatments on localized corrosion behaviour of welded AISI 316L stainless steel //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
34. Ziebermayr S., Fleischanderl M., Haslehner G., Stellnberger K.H., Hassel A.W. A novel method to study corrosion resistance of galvanised steel against corrosive dropping electrolytes //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
35. Rodriguez J., Mouanga M., Lanzutti A., Andreatta F., Fedrizzi L., Olivier M.-G. Mechanism of corrosion protection of zinc-magnesium coatings on steel studied by electrochemical depth profiling //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
36. Becker-Willinger C., Schmitz-Stoewe S., Opsoelder M., Jochum M., Albayrak S., Perre E. Structure property relationships in highly structured composite layers as corrosion protection coatings on mild steel //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
37. Örnek C., Engelberg D. Kelvin probe force microscopy and atmospheric corrosion of cold-rolled grade 2205 duplex stainless steel //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
38. Pichler M., Fleischanderl M., Wolpers M., Fafilek G. Finely distributed anodic and cathodic centers underneath organic coatings – characterization and effects on the delamination mechanism //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.

39. Mills D., Jamali S.S. A review on electrochemical noise measurement as a tool for evaluation of organic coatings and recent developments //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
40. Farina S., Sanchez A.G., Ceré S. Corrosion resistance of Zr 2.5Nb as material for permanent implants //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
41. Delpoux O., Kittel J., Grosjean F., Joiret S., Desamais N., Taravel-Condac C. A study by in situ Raman spectroscopy of carbon steel corrosion in CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S environment //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
42. Vuk A.S., Rodosek M., Rauter A., Perse L.S., Merl D.K. Possibilities of ex situ IR and in situ Raman spectroscopies for investigation of sol-gel anticorrosion coatings during anodic polarisation //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
43. Freitas E., Osório W., Silva A., Spinelli J. EIS Studies of As-cast monotectic Al–Pb and Al–Bi alloys in a 0,5 M NaCl solution //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
44. Fernández-Domene R., Sánchez-Tovar R., Escrivà-Cerdán C., Leiva-García R., García-Antón J. Influence of submarine emissions from El Hierro volcano (Spain) on the corrosion resistance of stainless steels //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
45. Ali H.B.M., Davenport A.J., Attallah M.M. Effect of microstructure on the morphology of atmospheric corrosion pits in 304L stainless steel //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
46. Örnek C., Engelberg D.L. Kelvin Probe Force Microscopy and Atmospheric Corrosion of Cold-rolled Grade 2205 Duplex Stainless Steel //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
47. Bonaccorsi L., Calabrese L., Pietro D. Di, Galeano M., Proverbio E. Data processing and data mining applied to Electrochemical Noise technique for Stress Corrosion Cracking recognition //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
48. Sánchez-Tovar R., Fernández-Domene R., García-Antón J. Evaluation of the pitting corrosion on an AISi 304 using Scanning Electrochemical Microscopy //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
49. Fang Z., Zhang L., Zhao X., Zuo Y. The study on failure process of acrylic polyurethane coating under alternate wetting and drying condition //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
50. Jing L., Jinshan P. In-situ AFM investigation of waterborne acrylic coating with CeO<sub>2</sub> nanoparticles for corrosion protection of carbon steel //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
51. Jamali S.S., Mills D.J. A critical review on electrochemical noise measurement as a tool for evaluation of organic coatings //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
52. Feser R., Mertke A. Influence of organic sealants on the corrosion protection of thermally sprayed ZnAl 15 coating //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
53. Altin A., Rohwerder M., Erbe A. «Green» encapsulation of corrosion inhibitors for smart coatings //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
54. Chahboun N., Rocca E., Veys-Renaux D., Augros M., Boutoba M. Aluminium alloys anodizing: effect of the composition and the microstructure //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
55. Hamid Z.A. Synthesis and behavior of nano hard anodized layers //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
56. Simoes A.M., Lourenço M.M., Fernandes J.C. Development of a bilayer superhydrophobic electrophoretic sol-gel coating on stainless steel //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
57. Matsuda T., Kashi K.B., Jensen M., Gelling V.J. Investigation of under film corrosion using pH sensitive microcapsules //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
58. Calle L.M., Li W., Buhrow J.W., Gillis M., Blanton M., Hanna J., Rawlins J. Recent developments on microencapsulation for autonomous corrosion protection //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
59. Bouvet G., Cohendoz S., Feaugas X., Mallarino S., Touzain S. Effect of structure and stress-state interactions on water diffusion processes in epoxy coatings //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
60. Lutz A., Graeve I. De, Terryn H. Non-destructive in-situ characterization of microcapsules and self-healing coatings using confocal Raman spectroscopy //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
61. Sundararajan G., Rebak R. Electrochemical behaviour of protective coatings in chloride solutions //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
62. Cotting F., Aoki I.V. Coating self-healing effect by loading microcapsules with two-component epoxy film former //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.

- 
63. Cao J., Sun J., Tang Y., Zuo Y. Study on copper release from an antifouling coating and its influence on corrosion of aluminum alloy substrate //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
  64. Valera J.A.O., Valera A.E.O., Armendariz V.H.J., Prado A.O. Performance of three organic coatings through degradation by atmospheric corrosion chamber //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
  65. Mueller T., Heyn A., Fenker M., Balzer M. Investigation on defect morphology and corrosion behaviour of TiMgN hard coatings on steel substrate //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
  66. Walczak M. Numerical modelling as a tool for the design of self-healing dispersion coatings //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
  67. Deconinck J., Dolgikh O., Demeter A., Simillion H., Steen N. Van den. Multiscale corrosion modelling //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
  68. Azumi K. In-situ atmospheric corrosion monitoring using resistometry //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
  69. Žák P., Kreislová K., Majtas D. Climatic durability of modern assembly technologies in electronics //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
  70. Minamitani R. An on-site atmospheric-corrosion sensor //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
  71. Melchers R.E., Jeffrey R.J. Long-term corrosion of steels and steel piling in seawaters with elevated nutrient concentration //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
  72. Vastra M., Salvin P., Roos C. MIC on bridge-building carbon steel in a tropical/Amazonian environment //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
  73. León E.J., Koleva D.A., Jonkers H.M., Mol J.M.C., Terryn H. Electrochemical behavior of low-carbon steel within MIC-induced corrosion //EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.
  74. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГИЦ 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.
-