

УДК 625.08

**Мухаметшина Р.М.** – кандидат химических наук

E-mail: rumya211@yandex.ru

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г.Казань, ул. Зеленая, д. 1

### **Отказы дорожно-строительных машин по параметрам коррозии**

#### **Аннотация**

В статье анализируется нарушение потенциала работоспособности дорожно-строительных машин по параметрам коррозии.

Рассмотрены виды коррозионных воздействий, которым наиболее подвержены конструкционные материалы, используемые при изготовлении дорожно-строительных машин и оборудования. Исследована модель коррозионного процесса, учитывающая влияние конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов на скорость коррозии.

На основе изучения закономерностей коррозионного разрушения деталей машин сформулированы рекомендации для обеспечения коррозионной надежности дорожно-строительных машин.

**Ключевые слова:** коррозия, работоспособность машин, скорость коррозии, дорожно-строительные машины.

Состояние машины, прежде всего, характеризуется ее работоспособностью. Одним из основных повреждающих процессов, снижающих потенциал работоспособности дорожно-строительных машин, является коррозия. Под коррозионной надежностью машин понимается их свойство сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в условиях взаимодействия с коррозионной средой. Коррозия может быть не только процессом, приводящим к отказам, но она может также ускорять процессы изнашивания, усталостного разрушения, снижать прочностные и деформационные свойства материалов. Из-за коррозии существенно снижается производительность машин и возрастают эксплуатационные расходы. Например, мощность двигателя внутреннего сгорания, зеркала цилиндров которого поражены коррозией, снижается на 20-25 %, при этом расход масла увеличивается на 50-80 %. В результате коррозионного воздействия предел выносливости конструкционных сталей снижается на 35-40 %, износостойкость уменьшается от 1,5 до 4 раз [1].

Коррозией металлов называется их разрушение вследствие химического или электрохимического взаимодействия с коррозионной средой. Дорожно-строительные машины, используемые в условиях запыленности и загрязненности атмосферы, высокой влажности, перепадов температур окружающего воздуха, земляного полотна и дорожных покрытий, являются техническими системами, подверженными интенсивным коррозионным разрушениям. Критериями отказов машин из-за коррозии могут быть такие события, как разрушение деталей из-за коррозии; достижение допустимого изменения массы или толщины металла под действием процесса коррозии; появление коррозионного очага на поверхности изделия; превышение допустимого уровня скорости коррозии и др. Наиболее сильно коррозионному разрушению подвержены детали кузова машин из тонколистовой стали, рамы, подвески, детали топливной аппаратуры двигателей, резьбовые соединения, сварные швы.

Коррозионный процесс является самопроизвольным и может протекать в самых разных средах. Рассмотрим те виды коррозионных воздействий, которым в наибольшей степени подвержены металлические материалы, используемые при современном конструировании дорожно-строительных машин и оборудования. По характеру взаимодействия металла со средой различают химическую и электрохимическую коррозию. Химическая коррозия возникает при отсутствии электропроводящей среды, а электрохимическая коррозия – в растворах электролитов. Механизм коррозионного разрушения элементов дорожно-строительных машин носит в основном

электрохимический характер, поскольку в реальных условиях эксплуатации машин отсутствие электропроводящей среды соблюдается редко. Большинство деталей машин в условиях эксплуатации взаимодействует с растворами электролитов. В процессе работы при изменении температуры поверхностей деталей на них из воздуха конденсируется вода в виде пленки. Газы, образующиеся в атмосфере в результате сгорания топлива, легко растворяются в воде, образуя такие кислоты, как серная, азотная и др., а также растворимые соли, являющиеся типичными электролитами. Электрохимическая коррозия наблюдается практически во всех элементах дорожно-строительных машин.

Интенсивность разрушения деталей машин в значительной степени зависит от свойств контактирующей с ними среды. По характеру окружающей среды различают атмосферную, газовую, жидкостную, почвенную и биологическую коррозию. Для большинства деталей дорожно-строительных машин наиболее характерна атмосферная коррозия. При атмосферной коррозии происходит постепенное разрушение металлов под действием атмосферного воздуха, а также содержащихся в нем твердых частиц, влаги и газов. Интенсивность разрушения зависит от состава атмосферного воздуха, вида и концентрации содержащихся в нем примесей. Для большинства конструктивных сплавов, применяемых в дорожно-строительном машиностроении, наиболее опасны примеси серы, сернистого газа, сероводорода и хлора. Для медных сплавов, кроме того, коррозионно-активным реагентом является также аммиак. Угольная пыль, соли оксидов металлов повышают электрическую проводимость электролита, обеспечивают улучшение адсорбции молекул различных газов и влаги из воздуха, увеличивают конденсацию воды.

Для элементов дорожно-строительных машин коррозионной средой являются также обрабатываемые объекты. Одним из основных объектов разработки таких машин являются грунты. Под воздействием грунтовой влаги происходит почвенная коррозия. Наиболее подверженными этому виду коррозии являются рабочие органы машин для земляных работ. Почвенная коррозия обычно протекает совместно с биологической коррозией, при которой разрушение металлических поверхностей происходит под влиянием различных микроорганизмов. Микроорганизмы могут непосредственно разрушать материал изделия, но чаще процессы коррозии стимулируются коррозионно-активными продуктами их жизнедеятельности – серой, сероводородом, соединениями азота и др.

Интенсивность отказов машин по параметрам коррозии зависит от большого количества различных по своей природе и значимости факторов. Любой коррозионный процесс является сложным физико-химическим процессом и не соответствует простому механизму, при котором один материал окисляется до ионного состояния, а другой восстанавливается путем приобретения электронов. Более точной, на наш взгляд, является такая модель коррозионного процесса, которая учитывает влияние конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов на скорость коррозии. Модель коррозионного процесса условно можно представить в виде функции (1) [2]:

$$v_k = \varphi (K, T, \mathcal{E}), \quad (1)$$

где  $v_k$  – скорость корродирования поверхности;  $K$  – конструктивные факторы,  $T$  – технологические факторы,  $\mathcal{E}$  – эксплуатационные факторы, влияющие на коррозионный процесс.

К конструктивным факторам относят сочетание материалов в сопряжении; вид соединения элементов конструкции (резьбовое, сварное, заклепочное и др.); конструкцию детали и сопряжения (наличие застойных зон, зазоров); концентрацию напряжений; характер нагружения; наличие защитных покрытий.

Технологические факторы включают в себя соотношение компонентов в сплаве; структуру металла; термодинамическую устойчивость металла; методы обработки поверхности (химико-термическая, электрохимическая, механическая); параметры шероховатости поверхности; остаточные напряжения.

К эксплуатационным факторам относят продолжительность эксплуатации; состав атмосферы; влажность; температуру и ее изменения; характер загрязнения поверхности (микробиологическое, механические примеси, агрессивные компоненты, продукты окисления и коррозии, распределение их по поверхности); влияние солнечной радиации; внешние нагрузки; условия воздухообмена; характер использования машины.

Количественная оценка отказов машин по параметрам коррозии основана на определении кинетических характеристик коррозионного процесса. Поскольку коррозионный процесс имеет гетерогенный характер, его скорость определяется протеканием следующих основных стадий:

- подведением к поверхности металла коррозионно-активных частиц (ионов, молекул), осуществляемых диффузией или конвекцией;
- реакцией частиц с металлом, протекающей во многих случаях многостадийно;
- отведением продуктов коррозии от поверхности металла, осуществляемым в соответствии с законом диффузии.

Скорость коррозии определяется в соответствии с уравнением (2):

$$v_k = k_p C \cdot \exp\left[-\frac{W}{RT}\right], \quad (2)$$

где  $k_p$  – константа скорости реакции;

$C$  – концентрация частиц;

$W$  – энергия активации, представляющая собой тот избыток энергии по сравнению со средней, обладание которым делает частицу реакционноспособной;

$R$  – универсальная газовая постоянная;

$T$  – абсолютная температура;

$\exp\left[-\frac{W}{RT}\right]$  – характеризует долю частиц, обладающих необходимой энергией активации, т.е. долю активных частиц.

Из уравнения (2) следует, что скорость реакции выше при низкой энергии активации и она возрастает с увеличением концентрации и температуры. Скорость коррозии характеризуется проницаемостью в металл продуктов коррозии и измеряется в миллиметрах, микрометрах проницаемости за год (мм/год, мкм/год). В табл. 1 приведены сравнительные данные о скоростях коррозионных процессов для различных химически чистых металлов [2]:

Таблица 1

**Средние величины скорости проникновения коррозии в металлы**

Металл	Pb	Al	Sn	Cu	Ni	Zn	Fe
$v_k$ , мкм/год	4	8	12	12	32	50	200

Наиболее распространенными металлическими материалами для изготовления дорожно-строительных машин являются чугун и сталь, а также цветные металлы. Из цветных металлов наибольшее применение в изготовлении деталей машин находят медь, алюминий, олово, свинец, цинк. Применяются они в виде сплавов (алюминиевые сплавы, латунь, бронза, баббит и др.). На коррозионную стойкость этих материалов большое влияние оказывает фактор коррозионной среды [2]. Интенсивному коррозионному воздействию подвержены машины и оборудование при работе вблизи химических предприятий, в условиях тропической атмосферы и морского климата (табл. 2).

Таблица 2

**Среды, повышающие скорости коррозионных процессов в материалах**

Материалы	Среда
Алюминиевые сплавы	Вода и пар; содержащие NaCl морская атмосфера и морская вода; воздух, водяной пар
Медные сплавы	Тропическая атмосфера; ртуть; Hg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ; бромиды; аммиак; органические аминосоединения
Алюминиевая бронза	Вода и пар; H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ; щелочи
Аустенитные нержавеющие стали	Хлориды, включая FeCl <sub>2</sub> , FeCl <sub>3</sub> , NaCl; морская вода и атмосфера; H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ; фториды; конденсат пара, полученного испарением хлоридсодержащей воды; H <sub>2</sub> S
Ферритные нержавеющие стали	Хлориды, включая NaCl; фториды; бромиды; иодиды; щелочи; нитраты; вода; пар
Углеродистые и низколегированные стали	HCl; щелочи; нитраты; HNO <sub>3</sub> ; HCN; расплавленный цинк; H <sub>2</sub> S; H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ; морская вода
Высокопрочные легированные стали (при напряжениях выше предела текучести)	Морская вода и атмосфера, загрязненная отходами промышленности

Комбинированное воздействие высокой влажности и температуры, характерное для тропической климатической зоны, вызывает резкую интенсификацию процессов разрушения поверхностей деталей вследствие электрохимической коррозии.

Существенное влияние на работоспособность машин по параметрам коррозии оказывает взаимная совместимость металлических материалов в конструкции (табл.3), основанная на физико-химических свойствах. Взаимные влияния могут быть вызваны непосредственным контактом между различными металлами, электролитическим переносом через среду, перенесением металлических частиц с потоком окружающей среды и другими эффектами, возникающими вследствие близкого расположения материалов [3]. Интенсивность коррозионного взаимодействия между различными металлами зависит от разности потенциалов между металлами, природы электролита, соотношения площадей поверхностей двух металлов, расстояния между ними. Даже высококачественные материалы могут стать причиной отказов машин и оборудования вследствие коррозии. Как следует из табл. 3 не всегда применение дорогостоящих металлов или сплавов позволяет получить желаемый результат в борьбе с коррозией. Более важным фактором при проектировании машин является правильный выбор совместно работающих материалов.

Таблица 3

## Совместимые (+) и несовместимые (-) пары металлов и сплавов

№ п/п		Пары металла													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Алюминий и его сплавы	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
2	Магний и его сплавы	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Цинк и его сплавы	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-
4	Кадмий	+	-	+	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	-
5	Никель	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-
6	Олово	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	-
7	Хром	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-
8	Свинец	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	-
9	Сплавы свинца и олова	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-
10	Медь и его сплавы	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+
11	Сталь нелегированная	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-
12	Сталь легированная	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-
13	Сталь нержавеющая	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
14	Серебро	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+

Если нельзя избежать соединения несовместимых металлов (например, медного сплава и алюминия), следует обязательно разделять их диэлектриком. Необходимо избегать применения в конструкции материалов, которые взаимно несовместимы вследствие особенностей их химического состава в конкретных окружающих условиях. Например, вулканизированная резина, которая содержит серу, вызывает повреждения соединяемого с ней металла.

Из технологических факторов, влияющих на развитие коррозионных процессов, наиболее опасны внутренние дефекты материала, возникающие при обработке деталей. Поверхностные или внутренние микротрещины, царапины, посторонние включения могут быть очагами зарождения коррозионного разрушения деталей [4].

Таким образом, в большинстве практических случаев коррозионный процесс разрушения деталей машин носит сложный характер и наблюдается влияние различных факторов на интенсивность коррозии. В современном мире усиливается коррозионная активность атмосферы, почвы и природных вод. Возрастает сложность коррозионных проблем. Закономерности, характеризующие повреждающие процессы коррозии в материалах деталей машин, позволяют прогнозировать ход повреждающего процесса и являются основой для разработки методов защиты от их коррозионного разрушения. Обеспечение работоспособности машин по показателю коррозионной стойкости требует реализации комплекса мероприятий, которые охватывают все основные стадии

жизненного цикла машины: проектирование, изготовление и эксплуатацию. Коррозионную стойкость металлов увеличивают на стадии конструирования – при подборе материала, обосновании вида защитного покрытия поверхности элементов машин; на стадии производства – в процессе обработки деталей и нанесения защитного покрытия; на стадии эксплуатации – нанесением смазочных покрытий, своевременным восстановлением поврежденных защитных покрытий. При эксплуатации машин необходимо периодически удалять продукты коррозии, влагу и загрязнения с поверхностей деталей. Наиболее перспективным в защите дорожно-строительных машин от коррозии является метод предупреждения отказов, профилактика коррозии за счет выполнения операций технического обслуживания и ремонта по состоянию машины после контроля, диагностирования. Этот метод широко развит за рубежом [5, 6]. Его использование позволяет повысить наработку на отказ контролируемых составных частей машин в 3-5 раз при относительно малом уменьшении среднего их ресурса.

Рассмотренная выше проблема сегодня приобретает особую актуальность. В условиях слабого развития транспортной инфраструктуры России проект ее создания и обновления может стать мощнейшим локомотивом развития инноваций и одним из «центров кристаллизации» инновационной активности [7]. Для успешной реализации данного проекта в климатических условиях России особое значение приобретает именно проблема повышения коррозионной устойчивости дорожно-строительной техники.

#### Список библиографических ссылок

1. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем. – М.: Академия, 2009. – 208 с.
2. Щурин К.В. Надежность мобильных машин. – Оренбург: ОГУ, 2010. – 585 с.
3. Долгополов Б.П., Доценко Г.Н., Зорин В.А. и др. Технология машиностроения, производство и ремонт подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин. – М.: Академия, 2010. – 576 с.
4. Гуревич Ю.Е., Косов М.Г., Схиртладзе А.Г. Детали машин и основы конструирования. – М.: Академия, 2012. – 592 с.
5. Максименко А.Н. Эксплуатация строительных и дорожных машин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 400 с.
6. Яхьяев Н.Я., Кораблин А.В. Основы теории надежности и диагностики. – М.: Академия, 2009. – 256 с.
7. Сахапов Р.Л., Абсалямова С.Г. Инновационная пауза как шанс на технологическую модернизацию российской экономики. // Известия КГАСУ, 2012, № 3 (21). – С. 203-208.

**Mukhametshina R.M.** – candidate of chemical sciences

E-mail: rumya211@yandex.ru

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

#### Breakdowns of road-building machines as a result of corrosion

##### Resume

Corrosion is one of the most dangerous damaging processes, decreasing efficiency potential of road-building machines. In the corrosion system there happens process of spontaneous metal fracture under the influence of aggressive environment. The process of corrosion damage of machine components generally conforms to regularities of electrochemical kinetics, whereas in real conditions of machines exploitation absence of electrically-conductive environment is rarely observed. Intensity of breakdowns of road-building machines as a result of corrosion depends on a great number of factors diverse by their nature and importance. The major influence on the speed of corrosive process exert nature of metal, materials compatibility in the structure, and environmental properties. For the constituents of road-building machines work-pieces can also

become corrosive environment. One of the main objects of developing machines of such type are soils. Soil corrosion takes place under the influence of soil-water. Operative parts of the machines for earthwork are mostly vulnerable to this corrosion type. Regularities, characterizing processes of corrosive break-downs of machinery parts, enable to forecast behavior of damaging process and form the basis for the development of corrosion control methods. Machines performance assurance in terms of corrosive resistance requires realization of the set of actions, which cover all the main stages of machine operating life, i.e. designing, production and exploitation.

**Keywords:** corrosion, machine runnability, corrosion speed, road-building machines.

#### Reference list

1. Zorin V.A. The Bases of Efficiency of Technical Systems. – M.: Akademia, 2009. – 208 p.
2. Schurin K.V. Mobile Machines Reliability. – Orenburg: OGU, 2010. – 585 p.
3. Dolgoplov B.P., Dotsenko G.N., Zorin V.A. etc. The technology of mechanical engineering, manufacture and repair of lifting and transportation, construction and road machines. – M.: Akademia, 2010. – 576 p.
4. Gurevich Y.E., Kosov M.G., Skhirtladze A.G. Machinery and design principles. – M.: Akademia, 2012. – 592 p.
5. Maksimenko A.N. Exploitation of Building and Road-building Machines. – SPb.: BHV-Petersburg, 2006. – 400 p.
6. Yakhyaev N.Y., Korablin A.V. The Bases of the Theory of Reliability and Diagnostics. – M.: Akademia, 2009. – 256 p.
7. Sakhapov R.L., Absalyamova S.G. Innovation pause as a chance to the technological modernization of the Russian economy // News of the KSUAE, 2012, № 3. – С. 203-208.