

В.В. Трубников, В.А. Марков, А.В. Трофимов, И.А. Зверев

ПРОБЛЕМА КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ЛЕСНЫХ МАШИН В ОТРАСЛЕВОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Введение. Наиболее распространенными конструкционными материалами для изготовления деталей, узлов и агрегатов лесных машин являются железоуглеродистые сплавы – стали и чугуны. Широкое распространение материалов в промышленности обусловлено наличием необходимых механических свойств, широкой номенклатурой способов обработки, возможностью изменения качественных характеристик, большому запасу теоретических и практических знаний по применению, приемлемой стоимостью производства и обработки.

Железоуглеродистые сплавы являются химически активными материалами и подвержены коррозионному разрушению вследствие воздействия внешней среды. Коррозия приводит к существенным экономическим потерям для лесопромышленного комплекса. Исследования показывают, что порядка 40% затрат на проведение работ по восстановлению работоспособного состояния лесной техники приходится на устранение неисправностей, вызванных коррозионными процессами [Быков, Голубев, 2012b; Голубев, 2013]. Дополнительные экономические потери вызывает простой машин, вызванный необходимостью проведения ремонта. Согласно данным [Пучин, 1988; Гайдар, 2011; Быков, Голубев, 2012b; Голубев, 2013], после трех лет эксплуатации прицепной техники порядка 70...80% конструктивных элементов подвержены коррозионному разрушению. Существенное влияние коррозия оказывает на прочностные показатели. Порядка 70...80% деталей лесных машин испытывают отказы вследствие совместного влияния коррозионного и механического воздействия.

Проблема коррозионного разрушения элементов конструкции несомненно является одной из актуальных для отраслевого машиностроения. Комплексного решения по защите от коррозии на всех этапах жизненного цикла техники на сегодняшний день не сформировалось. Обобщающий обзор проблемы коррозионного воздействия на конструктивные элементы лесных машин представляется актуальным.

Материалы и методика исследования. Представленный в работе обзор базируется на литературных источниках о видах коррозии металлов и

сплавов, механизмах ее протекания, причинах возникновения, последствиях и способах защиты применительно к лесному машиностроению. Используются методы сбора и обработки информации. Для наглядного представления коррозионных процессов в работе представлены иллюстрации, полученные авторами на предприятиях лесопромышленного комплекса путем фотофиксации явления.

Цель работы – проанализировать и обобщить результаты научных изысканий, посвященных проблематике коррозионного разрушения элементов конструкции лесных машин, а также обозначить перспективные направления исследований по совершенствованию защиты лесных машин от воздействия коррозии.

Результаты исследования. Для выявления причин возникновения и развития коррозии в элементах конструкции лесных машин необходимо разобрать существующую классификацию коррозионных процессов и выделить основные виды, характерные для условий эксплуатации лесной техники.

Коррозия металлических материалов классифицируется по механизму и условиям протекания процесса, а также характеру коррозионного разрушения (рис. 1) [Петрова и др., 2016; Хамидов, 2022; Akdogan, Eker, 2001].

Химическая коррозия – вид коррозии, которая протекает в сухих газовых средах и жидких неэлектролитах. При химической коррозии взаимодействие металла с коррозионной средой протекает в одном акте [Дмитриев, Молочников, 2022]. По условиям протекания химическая коррозия может быть газовой, при которой окисление происходит при высокой температуре в газовой среде и без конденсации влаги, и коррозией в неэлектролитах, при которой окисление происходит в жидкостях, не проводящих электрический ток (бензин, дизельное топливо, гидравлические жидкости, моторные масла, смазки и др.). Химическая коррозия в чистом виде встречается достаточно редко.

Химическая коррозия характерна для деталей узлов и агрегатов лесных машин, работающих в среде отработавших газов и неэлектролитических жидкостях. Газовой коррозии подвержены детали цилиндропоршневой группы двигателей лесных машин [Тимохова, Бурмистрова, 2016]. Коррозионному разрушению подвержены, например, гильзы цилиндров вследствие воздействия высокотемпературных продуктов сгорания топлива, особенно в верхней части гильз. Поршни, поршневые кольца и пальцы также подвержены воздействию газовой коррозии из-за попадания моторного масла или охлаждающей жидкости в камеру сгорания, использования низкокачественного топлива. На рис. 2 представлены примеры деталей цилиндропоршневой группы, подверженных коррозии.

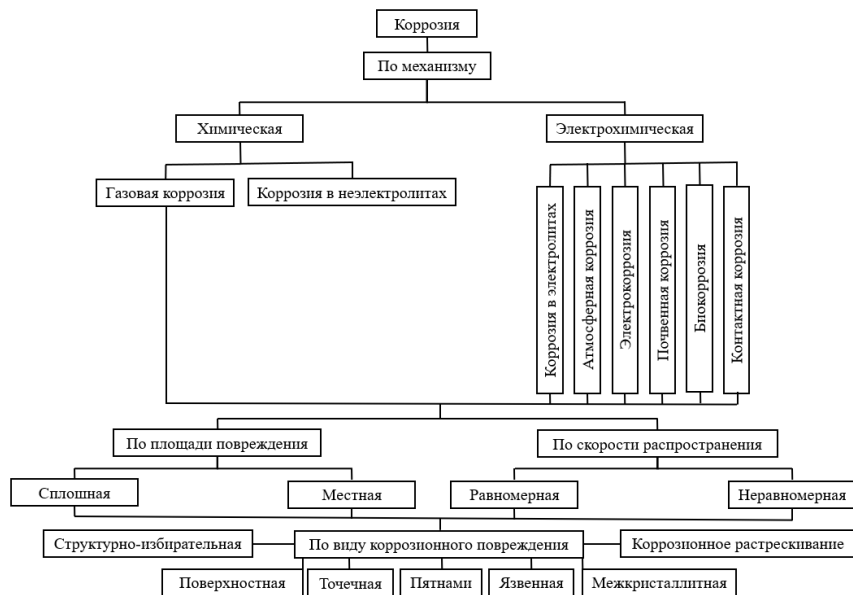


Рис. 1. Виды коррозии металлических материалов

Fig. 1. Types of corrosion of metal materials



Рис. 2. Примеры деталей цилиндра-поршневой группы, подверженных коррозионному износу

Fig. 2. Examples of cylinder-piston group parts subject to corrosive wear

Газовая коррозия характерна на этапе производства заготовок деталей лесных машин методом горячей обработки давлением и при проведении их термической обработки. В обоих случаях окисление металлов происходит вследствие воздействия высокотемпературных газовых сред и, как правило, является неизбежным процессом. Удаление окислившегося слоя металла осуществляется на последующих операциях технологического процесса, например, обработкой резанием.

Химическая коррозия в жидких неэлектролитах свойственна для деталей, узлов и агрегатов гидравлического привода лесной техники, например, гидронасосов, гидромоторов, силовых цилиндров, фитингов и др. (рис. 3). Причиной возникновения коррозионного разрушения является взаимодействие гидравлического масла с деталями гидроагрегатов, причем особенно интенсивно коррозионные процессы протекают при высокой температуре и давлении [Радиминович и др., 2025].



Рис. 3. Примеры деталей гидравлического привода, подверженных коррозионному износу

Fig. 3. Examples of hydraulic drive parts subject to corrosive wear

Электрохимическая коррозия – вид коррозии, которая протекает между металлом и коррозионной средой (влажгой, химическими веществами) в присутствии электрического тока [Барышникова, 2025]. В отличие от химической, при электрохимической коррозии одновременно протекают две реакции – окисления и восстановления, локализованные на определенных участках поверхности корродирующего металла [Петрова и др., 2016]. По виду коррозионной среды электрохимическая коррозия может быть:

- в растворах электролитов: коррозия металла протекает в жидкостях, проводящих электрический ток;
- атмосферной: коррозия металла протекает во влажной газовой или воздушной среде;
- почвенной: коррозия металла протекает при его эксплуатации под землей;
- биологической: коррозия металла происходит из-за влияния жизнедеятельности микроорганизмов.

По виду воздействия электрохимическая коррозия подразделяется на электрокоррозию (коррозия под действием внешнего источника тока) и контактную коррозию – разрушение металла, вызванное его контактом с другим металлом, обладающим более положительным электродным потенциалом в данной коррозионной среде [Гиннэ, 2021].

Наиболее характерным видом коррозии для конструктивных элементов лесных машин является *атмосферная коррозия*. Механизм ее образования заключается в том, что твердые частицы различных химических соединений, присутствующие в атмосфере, оседают на поверхностях металлоконструкций и совместно с влагой образуют электролит. В результате на участке металла, покрытом электролитом, происходит электрохимическая реакция, заключающаяся в окислении металла на аноде и восстановлении кислорода на катоде, а образующийся в процессе реакции гидроксид превращается в ржавчину – пористый гигроскопичный продукт, удерживающий влагу и ускоряющий процесс разрушения металла. В качестве коррозионных элементов (катада и анода) могут выступать, например: зерно, граница зерен, структурные составляющие, неметаллические включения, легирующие элементы, микропороки и пр.

Скорость разрушения металла при атмосферной коррозии во многом зависит от влажности воздуха, его химического состава и температуры. Согласно принятой классификации [Вигдорович и др., 2001], атмосферную коррозию подразделяют на:

- сухую атмосферную коррозию, протекающую при практически отсутствующем слое влаги на поверхности металла, что на практике встречается крайне редко;
- влажную атмосферную коррозию, протекающую при относительной влажности воздуха менее 100%, когда на поверхности металла образуется пленка электролита толщиной 0,01...1 мкм;
- мокрую атмосферную коррозию, протекающую в условиях капельной конденсации, когда слой воды на поверхности металла можно увидеть невооруженным глазом.

Наиболее характерной для условий эксплуатации лесной техники является влажная атмосферная коррозия, так как работа машин осуществляется в сложных природно-производственных условиях на протяжении всего года или с непродолжительным периодом хранения в межсезонье, как правило, с апреля по октябрь.

В процессе взаимодействия лесных машин с предметом труда, осуществления технологических переездов под пологом леса и пр. происходит постепенное изнашивание лакокрасочных покрытий наружных элементов конструкции машин, в частности, кабин операторов техники. В результате появляются участки металла, которые лишены защиты от воздействия влаги и постепенно подвергаются коррозионному разрушению (рис. 4).



Рис. 4. Лесовозный автомобиль Урал 4320 и трелевочный трактор ТДТ-55 со следами атмосферной коррозии, полученными в результате износа лакокрасочного покрытия (техника ООО «Вольнов»)

Fig. 4. A Ural 4320 logging truck and a TDT-55 skidder with traces of atmospheric corrosion resulting from wear of the paintwork (machines of Volnov LLC)

Исследованиями [Быков, Голубев, 2011; Быков, Голубев, 2012а; Тимохова, Бурмистрова, 2016] установлено, что значительную опасность атмосферная коррозия представляет для лесных машин не только в процессе эксплуатации, но и при их хранении в межсезонье на открытых площадках. Наиболее эффективным методом защиты лесной техники от атмосферной коррозии на период хранения машин является нанесение консервационных составов.

На сегодняшний день разработаны и активно используются различные составы и материалы, предназначенные для обработки деталей и металлоконструкций лесных машин на время их хранения.

В качестве консервационных покрытий могут использоваться: пластичные смазки, жидкие масла, преобразователи ржавчины с ингибирующими добавками, защитные восковые дисперсии, бензинобитумные составы и др. [Голубев, 2013; Раковская, Кудряшова, 2017]. Представленные покрытия эффективно защищают от атмосферной коррозии металлические элементы конструкции лесной техники в период ее хранения, однако их использование сопряжено с экономическими потерями как на приобретение, так и на транспортировку консервационных покрытий до места хранения машин.

Известны консервационные составы на основе отработанного моторного масла и отходов производства растительных масел [Голубев, 2012]. Способ отличается экономической эффективностью, так как позволяет использовать отходы собственного производства. Рассматриваемый вариант защиты от коррозии целесообразен только при хранении лесной техники в закрытых помещениях (ангарах, гаражах и пр.) или под навесом. Доказано, что при хранении лесных машин на открытых площадках использование отходов производства является неэффективным вследствие смывания консервационного состава с поверхностей машин атмосферными осадками [Быков, Голубев, 2013]. Для повышения стойкости консервационных составов на основе отходов производства при хранении лесных машин на открытых площадках в состав дополнительно могут быть введены нанопорошки различных химических элементов, например, наноразмерный порошок бемита [Быков, Голубев, 2012b].

Безусловно, использование только консервационных покрытий для защиты лесной техники от воздействия атмосферной коррозии является недостаточным в силу того, что их защитные свойства во многом обеспечиваются только на период хранения машин. Не восстанавливают они и уже подверженные коррозионному разрушению детали, поэтому стратегия обеспечения коррозионной защиты лесной техники должна начинаться уже на этапе конструкторско-технологической разработки проектируемых машин, а также включать в себя способы восстановления работоспособного состояния элементов конструкции, которые уже были подвергнуты воздействию коррозии в процессе эксплуатации. Исследованиями [Трубников и др., 2025а, б] показано, что на этапах изготовления несущих элементов лесных машин и при восстановлении изношенных в результате воздействия коррозии поверхностей наиболее эффективным и экономически целесообразным можно считать применение сочетания металлического по-

крытия, нанесенного методом холодного газодинамического напыления, и классического лакокрасочного покрытия.

Что касается численного определения потерь металла от воздействия атмосферной коррозии, то на сегодняшний день разработан достаточно точный математический аппарат для проведения расчета скорости атмосферной коррозии [Михайловский, 1989]. Проведение расчетов позволяет осуществлять построение карт коррозии для различных регионов как для периода эксплуатации, так и для хранения лесных машин в межсезонье [Быков, Голубев, 2011]. Построение карт позволяет подобрать наиболее подходящие для конкретных природно-производственных условий защитные покрытия.

Разработаны методики расчетов по определению влияния атмосферной коррозии на механические свойства (предел выносливости, предел текучести) материалов, из которых изготавливают несущие элементы лесных машин и металлоконструкции технологического оборудования. Разработанные модели учитывают не только материал, но и форму поперечного сечения конструктивных элементов. Например, для коробчатого сечения, применяемого в металлоконструкциях манипуляторов и рабочих органов лесных машин, характерна более высокая скорость коррозионного разрушения на верхнем поясе и в нижних частях боковых стенок, в местах соединения с нижним поясом (рис. 5), что объясняется стеканием влаги с верхних участков [Данилов, 2010].

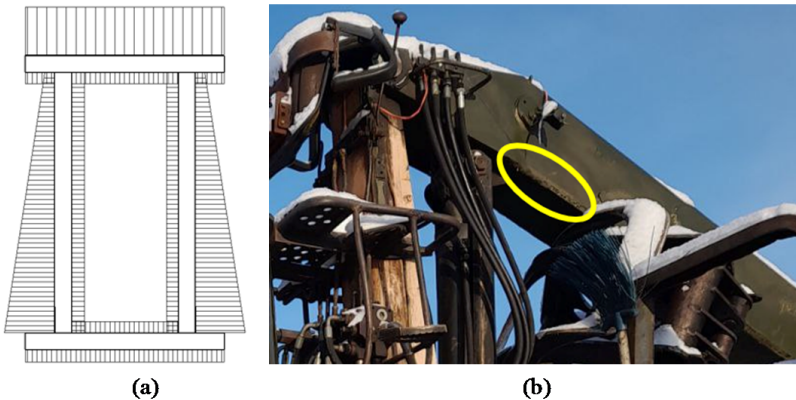


Рис. 5. Распределение коррозии по периметру металлоконструкции манипулятора: (а) эпюра распределения коррозии по периметру балки коробчатого сечения; (б) очаги коррозионного разрушения металла в нижней части стрелы манипулятора ПЛ-70

Fig. 5. Distribution of corrosion along the perimeter of the manipulator metal structure: (a) diagram of corrosion distribution along the perimeter of a box beam; (b) areas of corrosion damage to metal in the lower part of the PL-70 manipulator boom

Возможные коррозионные потери металла должны учитываться уже на этапе проектирования лесных машин, при проведении прочностных расчетов и обосновании коэффициента запаса прочности. Наиболее эффективным будет подход, учитывающий и природно-производственные условия, в которых будет эксплуатироваться машина, и геометрические размеры проектируемого элемента конструкции.

Еще одним видом коррозии, характерным для лесозаготовительной и лесохозяйственной техники, является *почвенная коррозия*. Этот вид воздействия характерен для конструктивных элементов, которые в процессе эксплуатации взаимодействуют с почвогрунтами, например, лемехи лесных плугов, фрезы культиваторов, траки гусеничных машин и др.

Причиной возникновения почвенной коррозии является взаимодействие металла с влагой и химическими элементами, содержащимися в почвах. Механизм почвенной коррозии протекает по электрохимическому принципу, за исключением сухих песчаных грунтов, не являющихся характерными для условий эксплуатации лесных машин. На скорость коррозионного разрушения металла влияют влажность почвы, ее кислотность, химический и гранулометрический состав [Назарова, Таныгина, 2016].

В процессе эксплуатации конструктивные элементы, которые взаимодействуют с почвогрунтами, подвержены постоянному абразивному изнашиванию вследствие воздействия различных твердых частиц, находящихся в почве, что приводит к разрушению защитных покрытий и способствует образованию коррозии на незащищенном металле. Для сохранения работоспособного состояния рассматриваемых конструктивных элементов очень важным аспектом является проведение ремонтных работ по восстановлению защитных покрытий, например, холодным газодинамическим напылением [Трубников и др., 2025a]. Стоит отметить, что лесохозяйственная техника и технологическое оборудование эксплуатируются всего несколько смен в году. Остальное время машины находятся на хранении, поэтому преобладающую роль в разрушении лесохозяйственной техники играет атмосферная коррозия [Голубев и др., 2011].

Характерны для лесных машин и другие виды коррозии. Например, *биологическая коррозия* является причиной коррозионного разрушения топливных насосов, баков и других емкостей для хранения топлива и масла [Балихин и др., 2006]. *Коррозия в растворах электролитов* может быть причиной разрушения конструктивных элементов лесных машин, эксплуатирующихся в болотистой местности, за счет растворения сероводорода в

воде [Бурмистрова, Тимохова, 2016]. *Контактная коррозия* характерна для контактных поверхностей деталей лесных машин, изготовленных из металлов с различным электродным потенциалом. Характерными примерами являются шарнирные сочленения манипуляторов лесных машин (палец–антифрикционная втулка). В результате контактной коррозии в сочленении появляется оксидная пленка, которая при последующем механическом воздействии разрушается и способствует увеличению скорости износа деталей сочленения [Черник и др., 2021].

В табл. 1 представлено распределение элементов конструкции лесных машин с указанием типовых представителей по видам коррозионного разрушения и причинам его возникновения.

Таблица 1

Распределение элементов конструкции лесных машин по видам коррозии

Distribution of structural elements of forestry machines by types of corrosion

Вид коррозии	Причины возникновения	Элементы конструкции лесных машин	Типовые представители
Газовая	Воздействие высокотемпературных продуктов сгорания топлива	Цилиндро-поршневая группа ДВС, система выпуска отработанных газов	Поршни, клапана, гильзы цилиндров, глушитель
В жидких неэлектролитах	Воздействие гидравлического масла	Гидропривод лесных машин и технологического оборудования	Штоки и гильзы гидроцилиндров, плунжеры гидронасосов и моторов
В жидких электролитах	Эксплуатация лесных машин в болотистой местности	Несущие элементы, ходовой системы	Рамы тракторов и автомобилей, опорные катки, ступицы колес
Атмосферная	Воздействие воздушной среды при эксплуатации и хранении машин	Кабины операторов, технологическое оборудование, ходовая система, несущие элементы	Стрела и рукоять манипуляторов, рамы машин, корпуса рабочих органов
Почвенная	Взаимодействие металла с влагой и химическими элементами содержащимися в почве	Технологическое оборудование лесохозяйственной техники, ходовая система	Лемехи плугов, фрезы культиваторов, траки гусеничных машин
Биологическая	Воздействие на металл продуктов жизнедеятельности микроорганизмов	Резервуары для хранения топлива и масла	Топливный бак, гидробак, топливный насос
Контактная	Контакт поверхностей металлических деталей с разным электродным потенциалом	Шарнирные сочленения манипуляторов, крепежные элементы	Пальцы, втулки, проушины, болты, гайки, шпильки

Заключение. Представленный в работе обзор показал, что проблема коррозионного разрушения конструктивных элементов лесных машин является значимой и требует комплексного подхода к ее решению на всех этапах жизненного цикла изделий.

Стоит отметить, что существующая на сегодняшний день научная литература в большинстве своем освещает вопросы коррозионной защиты на этапе эксплуатации лесной техники, особенно при хранении в межсезонье. В меньшей степени затрагивается решение проблемы на этапах конструкторской и технологической подготовки.

На сегодняшний день сформировалось достаточно точное представление о видах коррозии, механизмах ее протекания, причинах, последствиях и способах защиты. По мнению авторов, достаточно актуальными представляются исследования, направленные на:

- совершенствование методик расчета прочности элементов конструкций лесных машин, учитывающих возможные коррозионные процессы при эксплуатации техники;
- разработку новых, не восприимчивых к коррозии конструкционных материалов, обладающих необходимыми для лесных машин механическими, технологическими и эксплуатационными свойствами;
- повышение уровня автоматизации по нанесению защитных покрытий как при изготовлении новых лесных машин, так и в условиях ремонтных производств.

Вклад авторов. Трубников В.В. – постановка цели и задач исследования, сбор и обработка литературных источников (60%); Марков В.А. – сбор и обработка литературных источников (20%); Трофимов А.В. – сбор и обработка литературных источников (10%); Зверев И.А. – общее руководство работой (10%).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Балихин В.В., Быков В.В., Иванов Н.Ю. Технология ремонта машин и оборудования: учебник для вузов. СПб.: СПбГЛТА, 2006. 524 с.

Барышникова И.Ю. Эффекты коррозионного разрушения в механизмах лесных машин // Транспорт. Экономика. Социальная сфера (Актуальные проблемы и их решения): сб. ст. XII Межд. науч.-практ. конф. Пенза, 2025. С. 11-14.

Бурмистрова О.Н., Тимохова О.М. Влияние сероводорода на скорость коррозии деталей лесных машин // Успехи современной науки и образования. 2016. Т. 5, № 12. С. 82–84.

Быков В.В., Голубев М.И. Карты атмосферной коррозии лесных машин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2011. № 5. С. 53-55.

Быков В.В., Голубев М.И. Консервационные составы из отходов для защиты лесных машин от коррозии при хранении // Труды ГОСНИТИ. 2012а. Т. 110, № 1. С. 44-46.

Быков В.В., Голубев М.И. Эффективность наноматериалов на основе отходов производства растительных масел для защиты лесных машин от коррозии при хранении // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2012b. № 7. С. 136-137.

Быков В.В., Голубев М.И. Использование отходов производства растительных масел для защиты машин лесного хозяйства от коррозии // Труды ГОСНИТИ. 2013. Т. 112, № 2. С. 58-60.

Вигдорovich В.И., Шель Н.В., Крылова А.Г. Особенности атмосферной коррозии металлов // Вестник ТГУ. 2001. Т. 6, № 3. С. 279-289.

Гайдар С.М. Защита сельскохозяйственной техники от коррозии и износа с применением нанотехнологий: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2011. 433 с.

Гиннэ С.В. К вопросу о защите строительных машин и оборудования от контактной коррозии металлов // Эпоха науки. 2021. № 25. С. 60-70.

Голубев М.И. Эффективность консервационных составов для защиты лесных машин от коррозии при хранении на открытых площадках // Тр. межд. симпозиума «Надежность и качество». 2012. Т. 2. С. 172.

Голубев М.И. Новые материалы для защиты лесных машин от коррозии // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2013. №1. С. 40–41.

Голубев И.Г., Быков В.В., Голубев М.И. Консервационные составы на основе отходов растительных масел для защиты лесных машин от коррозии при хранении // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: мат. межд. науч.-практ. конф. Минск, 2011. С. 130-132.

Данилов Д.С. Диагностика повреждаемости металлических конструкций грузоподъемных машин: дис. ... канд. техн. наук. Тула, 2010. 160 с.

Дмитриев И.Ю., Молочников Д.Е. Коррозионные процессы металлов // Наука и Образование. 2022. Т. 5, № 2.

Михайловский Ю.Н. Атмосферная коррозия металлов и методы их защиты. М.: Металлургия, 1989. 101 с.

Назарова А.А., Таныгина Е.Д. Влияние химического и гранулометрического состава различных типов почв на скорость почвенной коррозии стали 3 // Апробация. 2016. № 3(42). С. 14-17.

Петрова Л.Г., Тимофеева Г.Ю., Демин П.Е., Косачев А.В. Основы электрохимической коррозии металлов и сплавов: учеб. пособие / под общ. ред. Г.Ю. Тимофеевой. М.: МАДИ, 2016. 148 с.

Пучин Е.А. Противокоррозионная защита сварных конструкций зерноуборочных комбайнов при эксплуатации: дис. ... канд. техн. наук. М., 1988. 176 с.

Радминович П.С., Сокол В.А., Маковская И.А. Коррозионные процессы в гидросистемах и пути их предотвращения // НИРС АТФ-2025: мат. 81-й студ. науч.-техн. конф. Минск, 2025. С. 81-84.

Раковская Е.Г., Кудряшова О.А. Применение модифицированного преобразователя ржавчины П-2 для защиты лесных машин от коррозии // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2017. Вып. 221. С. 309-323. DOI: 10.21266/2079-4304.2017.221.309-323.*

Тимохова О.М., Бурмистрова О.Н. Анализ воздействия коррозионного износа на работоспособность деталей лесных машин // *Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6, № 3(23). С. 183-188. DOI: 10.12737/21697.*

Трубников В.В., Марков А.А., Ганин С.В., Блинов С.А., Левитский А.М., Трофимов А.В., Зверев И.А. Анализ коррозионной стойкости порошковых покрытий для защиты деталей лесных машин // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025а. № 255. С. 336-356. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.255.336-356.*

Трубников В.В., Марков А.А., Трофимов А.В., Хахина А.М., Зверев И.А. Анализ антикоррозийных покрытий для несущих элементов лесных машин // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025б. № 256. С. 480-497. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.256.480-497.*

Хамидов О.И. Процесс коррозии металлов боевых и мобильных машин: классификация коррозионных процессов и виды коррозионного разрушения // *Научные исследования XXI века. 2022. № 1(15). С. 81-85.*

Черник К.Н., Гиннэ С.В., Черник Д.В. О защите шарнирных соединений лесных манипуляторов от фреттинг-коррозии // *Хвойные бореальной зоны. 2021. Т. 39, № 5. С. 413-420.*

Akdogan A., Eker B. The effect of corrosion and prevention methods on agricultural machinery // *Farm work science facing the challenge of the XXI century. Leiden, The Netherlands, 2001. P. 278-283. DOI: 10.1163/9789004683662_048.*

References

Akdogan A., Eker B. The effect of corrosion and prevention methods on agricultural machinery. *Farm work science facing the challenge of the XXI century. Leiden, 2001, pp. 278-283. DOI: 10.1163/9789004683662_048.*

Balikhin V.V., Bykov V.V., Ivanov N.Yu. Machine and Equipment Repair Technology: textbook for universities. St. Petersburg: SPbFTA, 2006. 524 p. (In Russ.)

Baryshnikova I. Yu. Effects of Corrosion Destruction in Forestry Machine Mechanisms. *Transport. Economy. Social Sphere (Current Issues and Their Solutions): collection of articles from the XII Int. sci.-pract. conf. Penza, 2025, pp. 11–14. (In Russ.)*

Burmistrova O.N., Timokhova O.M. The Effect of Hydrogen Sulfide on the Corrosion Rate of Forestry Machine Parts. *Advances in Modern Science and Education, 2016, vol. 5, no. 12, pp. 82-84. (In Russ.)*

Bykov V.V., Golubev M.I. Atmospheric corrosion maps of forestry machines. *Bulletin of MSFU – Forest Bulletin, 2011, no. 5, pp. 53-55. (In Russ.)*

Bykov V.V., Golubev M.I. Preservative compositions from waste to protect forestry machines from corrosion during storage. *Proceedings of GOSNITI, 2012a, vol. 110, no. 1, pp. 44-46. (In Russ.)*

Bykov V.V., Golubev M.I. Efficiency of nanomaterials based on vegetable oil production waste for protecting forestry machines from corrosion during storage. *Bulletin of MSFU – Forest Bulletin*, 2012b, no. 7, pp. 136-137. (In Russ.)

Bykov V.V., Golubev M.I. Using vegetable oil production waste to protect forestry machines from corrosion. *Proceedings of GOSNITI*, 2013, vol. 112, no. 2, pp. 58–60. (In Russ.)

Chernik K.N., Ginne S.V., Chernik D.V. On the protection of articulated joints of forestry manipulators from fretting corrosion. *Conifers of the boreal zone*, 2021, vol. 39, no. 5, pp. 413-420. (In Russ.)

Danilov D.S. Damage Diagnostics of Metal Structures of Lifting Machines: Diss. ... Cand. Tech. Sci. Tula, 2010. 160 p. (In Russ.)

Dmitriev I.Yu., Molochnikov D.E. Corrosion Processes of Metals. *Science and Education*, 2022, vol. 5, no. 2. (In Russ.)

Gaidar S.M. Protection of Agricultural Machinery from Corrosion and Wear Using Nanotechnology: Diss. ... Dr. Tech. Sci. Moscow, 2011. 433 p. (In Russ.)

Ginne S.V. On the Protection of Construction Machinery and Equipment from Contact Corrosion of Metals. *Epoch of Science*, 2021, no. 25, pp. 60-70. (In Russ.)

Golubev I.G., Bykov V.V., Golubev M.I. Preservative compositions based on waste vegetable oils for the protection of forestry machines from corrosion during storage. *Scientific and technical progress in agricultural production: proceedings of the int. sci.-pract. conf. Minsk*, 2011, pp. 130–132. (In Russ.)

Golubev M.I. Efficiency of Preservative Compositions for Protecting Forest Machinery from Corrosion During Storage in Open Areas. *Proceedings of the Int. Symposium “Reliability and Quality”*, 2012, vol. 2, p. 172. (In Russ.)

Golubev M.I. New materials for the protection of forestry machines from corrosion. *Bulletin of MSFU – Forest Bulletin*, 2013, no. 1, pp. 40–41. (In Russ.)

Khamidov O.I. The corrosion process of metals of combat and mobile vehicles: classification of corrosion processes and types of corrosion damage. *Scientific research of the XXI century*, 2022, no. 1 (15), pp. 81-85. (In Russ.)

Mikhailovskiy Yu.N. Atmospheric Corrosion of Metals and Methods of Their Protection. Moscow: Metallurgiya, 1989. 101 p. (In Russ.)

Nazarova A.A., Tanygina E.D. Effect of Chemical and Granulometric Composition of Different Soil Types on the Rate of Soil Corrosion of Steel 3. *Approbation*, 2016, no. 3 (42), pp. 14-17. (In Russ.)

Petrova L.G., Timofeeva G.Yu., Demin P.E., Kosachev A.V. Fundamentals of Electrochemical Corrosion of Metals and Alloys: textbook / ed. by G.Yu. Timofeeva. Moscow: MADI, 2016. 148 p. (In Russ.)

Puchin E.A. Anti-Corrosion Protection of Welded Structures of Grain Harvesters during Operation: Diss. ... Cand. Tech. Sci. Moscow, 1988. 176 p. (In Russ.)

Radiminovich P.S., Sokol V.A., Makovskaya I.A. Corrosion processes in hydraulic systems and ways to prevent them. *NIRS ATF-2025: proceedings of the 81st stud. sci.-tech. conf. Minsk*, 2025, pp. 81-84. (In Russ.)

Rakovskaya E.G., Kudryashova O.A. Application of modified rust converter P-2 for protection of forestry machines from corrosion. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicoskoj Akademii*, 2017, iss. 221, pp. 309-323. DOI: 10.21266/2079-4304.2017.221.309-323. (In Russ.)

Timokhova O.M., Burmistrova O.N. Analysis of the Impact of Corrosive Wear on the Performance of Forest Machine Parts. *Journal of Forest Engineering*, 2016, vol. 6, no. 3(23), pp. 183-188. DOI: 10.12737/21697. (In Russ.)

Trubnikov V.V., Markov A.A., Ganin S.V., Blinov S.A., Levitskiy A.M., Trofimov A.V., Zverev I.A. Analysis of corrosion resistance of powder coatings for protection of forestry machine parts. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicoskoj Akademii*, 2025a, iss. 255, pp. 336–356. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.255.336-356. (In Russ.)

Trubnikov V.V., Markov A.A., Trofimov A.V., Khakhina A.M., Zverev I.A. Analysis of anti-corrosion coatings for load-bearing elements of forestry machines. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicoskoj Akademii*, 2025b, iss. 256, pp. 480-497. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.256. 480-497. (In Russ.)

Vigdorovich V.I., Shel N.V., Krylova A.G. Features of atmospheric corrosion of metals. *Bulletin of TSU*, 2001, vol. 6, no. 3, pp. 279-289. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 16.02.2025

Труби́ков В.В., Марков В.А., Трофи́мов А.В., Зве́рев И.А. Проблема коррозионной стойкости элементов конструкции лесных машин в отраслевом машиностроении // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 306–322.* DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.306-322

В работе представлен обзор, посвященный проблеме коррозионного воздействия на конструктивные элементы лесных машин. Изложенный материал базируется на литературных источниках о видах коррозии металлов и сплавов, механизмах ее протекания, причинах возникновения, последствиях и способах защиты применительно к лесному машиностроению. Цель работы – проанализировать и обобщить результаты научных изысканий, посвященных проблематике коррозионного разрушения элементов конструкции лесных машин, а также обозначить перспективные направления исследований по совершенствованию защиты лесных машин от воздействия коррозии. Представлена классификация видов коррозии. В статье рассматривается воздействие на детали лесной техники газовой, атмосферной, почвенной и других видов коррозии, приводятся примеры конструктивных элементов машин, подверженных рассматриваемому явлению. Представлены иллюстрации, демонстрирующие коррозионные процессы, полученные авторами на предприятиях лесопромышленного комплекса. Исходя из представленного в работе материала, можно сделать вывод, что проблема коррозионного воздействия на конструкцию лесных машин является комплексной и требует

всестороннего подхода, обеспечивающего защиту от коррозии на всех этапах жизненного цикла техники. Существующая на сегодняшний день научная литература в большинстве своем освещает вопросы коррозионной защиты на этапе эксплуатации лесной техники, особенно при хранении в межсезонье. В меньшей степени затрагивается решение проблемы на этапах конструкторской и технологической подготовки. В заключении отмечается ряд перспективных, по мнению авторов, направлений исследований по рассматриваемой проблеме.

Ключевые слова: коррозия, лесные машины, атмосферное воздействие, виды коррозии, разрушение металла, конструктивные элементы.

Trubnikov V.V., Markov V.A., Trofimov A.V., Zverev I.A. The problem of corrosion resistance of structural elements of forestry machines in industrial mechanical engineering. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 306–322 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.306-322

This paper presents a review of the corrosion effects on structural components of forestry machinery. The material presented is based on literary sources on the types of metal and alloy corrosion, its mechanisms, causes, consequences, and protection methods applied to forestry machinery. The purpose of this paper is to analyze and summarize the results of scientific research on the problem of corrosive destruction of structural components of forestry machinery, as well as to identify promising research areas for improving the protection of forestry machinery from corrosion. A classification of corrosion types is presented. The article examines the effects of gas, atmospheric, soil, and other types of corrosion on forestry machinery components, and provides examples of machine structural components susceptible to this phenomenon. Illustrations demonstrating corrosion processes obtained by the authors at enterprises in the forestry complex are presented. Based on the material presented in this paper, it is concluded that the problem of corrosion effects on the structure of forestry machinery is complex and requires a comprehensive approach ensuring corrosion protection at all stages of the equipment's life cycle. Existing scientific literature largely addresses corrosion protection during the operational phase of forestry equipment, particularly during off-season storage. Less attention is paid to addressing the issue during the design and engineering stages. The authors conclude by highlighting a number of promising research directions in this area.

Key words: corrosion, forest machines, atmospheric exposure, types of corrosion, metal destruction, constructive elements.

ТРУБНИКОВ Виктор Валерьевич – соискатель Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна. SPIN-код: 3756-3397.

191186, ул. Большая Морская, д. 18, Санкт-Петербург, Россия.

TRUBNIKOV Viktor V. – PhD candidate, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. SPIN-code: 3756-3397.

191186. Bolshaya Morskaya str. 18. Saint Petersburg. Russia.

МАРКОВ Виктор Александрович – доцент кафедры машин и автоматизированных систем Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, кандидат технических наук. SPIN-код: 1503-7932.

191186, ул. Большая Морская, д. 18, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: mactor85@mail.ru

MARKOV Viktor A. – PhD (Technical), Associate Professor, Department of Machines and Automated Systems, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. SPIN-code: 1503-7932.

191186. Bolshaya Morskaya str. 18. St. Petersburg, Russia. E-mail: mactor85@mail.ru

ТРОФИМОВ Александр Викторович – доцент кафедры лесного машиностроения, сервиса и ремонта Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук. SPIN-код: 8933-0230.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: agregat9@yandex.ru

TROFIMOV Aleksandr V. – PhD (Technical), Associate Professor, Department of Forestry Engineering, Service and Repair, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 8933-0230.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: agregat9@yandex.ru

ЗВЕРЕВ Игорь Андреевич – доцент кафедры лесного машиностроения, сервиса и ремонта Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук. SPIN-код: 1126-2121. ORCID: 0000-0002-8163-7489.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: igorzv1997@gmail.com

ZVEREV Igor A. – PhD (Technical), Associate Professor, Department of Forestry Engineering, Service and Repair, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 1126-2121. ORCID: 0000-0002-8163-7489.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: igorzv1997@gmail.com