УДК 66.0

DOI: 10.35887/2305-2538-2020-6-60-69

ПРОНИКАЮЩАЯ СМАЗКА ДЛЯ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

¹Ломовских Александр Егорович²Сазонов Сергей Николаевич¹Щепелев Андрей Юрьевич¹Армянинов Иван Сергеевич¹Маматказин Тимур Рифатович¹Прилепин Олег Евгеньевич¹ФГКВОУ ВО «ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»²ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт

использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. В статье рассматривается основная проблема, возникающая при ремонте техники сельскохозяйственного назначения – «прикипание» резьбовых соединений. Проведен краткий анализ существующих типов проникающих смазок, используемых против «прикипания» резьбовых соединений. Предложен состав проникающей смазки. Изучали процесс откручивания резьбовых соединений болт-гайка диаметром 10 мм и 12 мм после искусственного коррозионного изнашивания путем опускания в ванну с концентрированным раствором из технической соли хлорида натрия. Резьбовые соединения были зафиксированы между собой затягиванием гайки моментом силы равной 4,2 кгс/м. Для ускорения реакции коррозионного изнашивания раствор в ванне периодически барботировался и нагревался до температуры 60 °С. Измеряли разницу между моментом откручивания резьбовых соединений, обработанных и необработанных исследуемыми проникающими жидкостями. Определили, что средний момент силы откручивания необработанных проникающими жидкостями резьбовых соединений диаметром 10 мм составлял – 6,6 кгс/м, а диаметром 12 мм – 11 кгс/м соответственно. Момент откручивания необработанных проникающими смазками резьбовых соединений измерялся для 20 соединений диаметром 10 мм и 20 соединений диаметром 12 мм. Установлено, что проникающие смазки с большим содержанием растворителей пагубно влияют на резиновые и пластиковые детали, пыльники, кольца и др. Определено, что проникающая способность таких смазок обратно пропорциональна процентному содержанию смазывающих веществ. Показано, что разработанный состав может использоваться как средство борьбы против «прикипевших» резьбовых соединений. Достаточно низкая стоимость по сравнению с конкурентами решает вопрос экономической целесообразности его использования. Из-за достаточного содержания летучих веществ и растворителей его не рекомендуется использовать в качестве защитного покрытия для резьбовых соединений после ремонта какого-либо узла или агрегата СуАТ.

Ключевые слова: проникающая смазка, коррозионная защита, ремонт автомобильной техники, смазка резьбовых соединений.

HIGHLY ACTIVE LUBRICANT FOR THREADED CONNECTIONS

¹Lomovskikh Alexandr²Sazonov Sergey¹Shepelev Andrey¹Armyaninov Ivan¹Mamatkazin Timur¹Prilepin Oleg¹MERC "Air Force Academy Professor N.E. Zhukovsky and Major Y.A. Gagarin"²FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

Abstract: The main problem arising in the repair of agricultural equipment - "sticking" of threaded connections is considered in the article. A brief analysis of the existing types of penetrating lubricants used against "sticking" of threaded connections was carried out. The composition of the penetrating

lubricant is proposed. The process of unscrewing threaded connections of a bolt-nut with a diameter of 10 mm and 12 mm after artificial corrosion wear by lowering it into a bath with a concentrated solution of technical sodium chloride salt was studied. Threaded connections were fixed to each other by tightening the nut with a torque equal to 4.2 kgf / m. The solution in the bath was periodically bubbled and heated to a temperature of 60 ° C to accelerate the corrosion reaction. The difference between the moment of loosening of threaded connections treated and untreated with the investigated penetrating liquids was measured. It was determined that the average torque of unscrewing threaded connections untreated with penetrating liquids with a diameter of 10 mm was 6.6 kgf / m, and with a diameter of 12 mm - 11 kgf / m, respectively. The loosening torque of untreated threaded connections was measured for 20 connections with a diameter of 10 mm and 20 connections with a diameter of 12 mm. It has been found that penetrating lubricants with a high solvent content have a detrimental effect on rubber and plastic parts, anthers, rings, etc. It has been determined that the penetrating power of such lubricants is inversely proportional to the percentage of lubricants. It is shown that the developed composition can be used as a means of combating "sticky" threaded connections. Quite low cost in comparison with competitors solves the issue of economic feasibility of its use. Due to the sufficient content of volatile substances and solvents, it is not recommended to use it as a protective coating for threaded connections after the repair of any SiAT unit or unit.

Keywords: *penetrating lubricant, corrosion protection, automotive repair, thread lubrication.*

Введение. В настоящее время резьбовые соединения являются одним из самых распространенных и надежных видов разъемных соединений [1]. Резьбовые соединения применяются в любой отрасли промышленности, практически в любом оборудовании. Техника сельскохозяйственного назначения (ТСН) в этой области не является исключением. Так как данная техника эксплуатируется в различных условиях окружающей среды и воздействия широкого диапазона нагрузок могут возникать различные проблемы при попытках разбора агрегатов и деталей ТСН связанных с резьбовыми соединениями [2].

При ремонте и замене комплектующих любого автотранспортного средства частой проблемой является «закипевшие» резьбовые соединения. Основной причиной данной проблемы является коррозия металлов деталей резьбового соединения. Как известно, коррозия металлов происходит из-за их термической неустойчивости под действием окислительных компонентов окружающей среды, среди которых наиболее распространенными являются молекулы кислорода. Во влажной среде окисление происходит с большим образованием оксидов окисляемых металлов кислородом, так как влага является главным катализатором разрушения поверхности основной структуры металла.

Цель работы заключается в разработке нового недорогого и доступного состава для проникновения в резьбовое соединение механизма и узла с целью его беспрепятственного разбора особенно в полевых условиях.

Материалы и методы. Следует отметить, что при окислении какой-либо детали поверхностный слой металлов, разрушаясь, покрывается оксидами данных металлов. Для некоторых металлов, например, алюминия данный эффект играет положительную роль при его хранении и использовании. При нормальных условиях алюминий покрыт тонкой и прочной оксидной пленкой. Эта пленка защищает алюминий от последующего окисления кислородом, а также влияния других пагубных факторов окружающей среды. Здесь сравнение с углеродистыми сплавами железа, из которых изготавливается конструкционная сталь, провести нельзя, так как их окислительные процессы в атмосфере происходят другим образом. В отличие от алюминия конструкционные стали, из которых в основном изготавливают детали крепежа (болты, гайки и др.), окисляются намного медленнее. При этом окисная пленка, покрывающая конструкционные стали является неоднородной, неплотной и химически неустойчивой. Благодаря этой особенности легированные конструкционные стали при долговременном нахождении в атмосфере (при действии окружающей среды) могут окисляться (ржаветь) даже насквозь. Для наглядности на рисунке 1 и рисунке 2, соответственно, показаны окисные пленки сплава алюминия и сплава железа-углерод.

Рисунок 1 – Вид окисной пленки на сплаве алюминия

Рисунок 2 – Вид окисной пленки на сплаве железа

Стоит отметить, что в действительности окисная пленка покрывается по всей поверхности сплава. Толщина окисной пленки алюминия составляет около 1 нм (до температуры 300 °С).

Окисная пленка на нелегированных сплавах железо-углерод образуется на порядок медленнее в отличие от алюминиевых сплавов. Благодаря этому свойству происходит неравномерное окисление деталей, изготовленных из конструкционных сталей нелегированных сплавов железо-углерод [3].

Так как железо является основным компонентом конструкционных сталей, то процесс коррозии данных сталей можно описать следующими реакциями:

При ремонте сельскохозяйственной и автомобильной техники (СиАТ), которая эксплуатировалась в течении большого количества времени, а также в суровых погодных условиях именно из-за окисления (в последующем ржавчины) конструкционных сталей велика вероятность «прикипания» крепежных деталей с резьбовыми соединениями. Известным фактом является то, что в процессе ремонта СиАТ основное время расходуется на разборку и очистку

ремонтируемых агрегатов АТ. При этом следует отметить, как правило, чем дольше эксплуатировалась техника после предыдущего ремонта, тем больше времени затрачивается на разборку агрегатов СиАТ.

Процесс окисления болтов в резьбовых соединениях различных агрегатов СиАТ, например, двигателя внутреннего сгорания (ДВС) или коробки передач (КП) создает сложность при разборе данных агрегатов. Так как окисление нелегированных конструкционных сталей в атмосфере не прекращается с течением времени, то при долговременной эксплуатации СиАТ, а также эксплуатации в суровых погодных условиях рост ржавчины в резьбовом соединении может привести к серьезной проблеме во время разборки агрегатов СиАТ. При этом не редкостью является ситуация, когда при попытке открутить прикипевший болт, из-за образовавшейся большой коррозионной корки, сила взаимодействия между кристаллической решеткой болта оказывается меньше силы, которую необходимо приложить для откручивания данного болта. Вследствие чего происходит разрушение болта в месте сосредоточения нагрузки – чаще всего у шляпки болта. На рисунке 3 показан эффект такого разрушения на примере резьбового болта.

Рисунок 3 – Внешний вид разрушения болта

Ввиду таких разрушений ремонт СиАТ может затянуться на значительно большее время, чем планировалось. А при поломках в пути (на дороге) или при выполнении различных работ такая ситуация может привести к ситуации, когда своими силами исправить положение уже невозможно [4].

Во избежание серьезных поломок в резьбовом соединении агрегатов, узлов и деталей старой сельскохозяйственной техники специалисты в области автомобильного ремонта советуют заранее обрабатывать специальными жидкостями данные резьбовые соединения, в частности, перед плановым ремонтом или техническом обслуживании данной техники. Для таких случаев, чаще всего, используют различные проникающие смазки [5, 6].

Проникающая смазка – это универсальное средство, предназначенное для работы с различными деталями, механизмами и соединениями. Проникающие смазки обладают различными свойствами и имеют достаточно широкую область применения.

Функции проникающих смазок определяют противоречивые требования к их свойствам. С одной стороны, для эффективного проникновения они должны быть не вязкими (густыми). С другой стороны, вязкость должна быть достаточной для образования эффективной смазочной пленки, устойчивой к нагрузкам, защищающей от коррозии и способной удерживаться на поверхностях деталей достаточно длительное время. Также некоторые проникающие смазки обладают такими дополнительными функциями как:

- разрушать ржавчину в резьбовых соединениях и на металлических поверхностях;
- способствовать вытеснению влаги;
- предохранять детали от «схватывания» на морозе;
- увеличивать срок службы металлических, резиновых и пластиковых деталей, путем создания на поверхности стойкого консервирующего покрытия и смазочной пленки;

- создание антикоррозионного покрытия [7].

Для анализа основных свойств ниже приведем сравнительный анализ самых популярных и эффективных составов (проникающих смазок).

WD-40 – технический аэрозоль, разработанный более 50 лет назад. Он до сих пор пользуется популярностью – в основном, благодаря агрессивному маркетингу. Состав его официально держится в секрете, но на самом деле уже давно раскрыт: смесь нефтяных растворителей и парафинового дистиллята. За все время своего существования данная смазка практически не изменилась, только в состав были введены ароматизаторы для приглушения нефтяного запаха, и появились различные варианты упаковки. Основное назначение WD-40 очевидно из ее названия, которое расшифровывается как «Water Displacement», или «Вытеснитель воды».

Нефтяные дистилляты в составе WD-40 способствуют образованию очень тонкой и быстро испаряющейся смазочной пленки. Поэтому защита от коррозии является кратковременной, а смазочные свойства у этого технического аэрозоля практически отсутствуют. После применения WD-40, рекомендуется смазывать механизмы подходящим смазочным материалом. Поэтому после ее применения требуются различные консистентные смазки, которых в полевых условиях может и не быть.

Кроме того, опыт применения WD-40 показал еще один недостаток данной смазки. WD-40 удаляет влагу, но затем способствует очень быстрой ее адсорбции из воздуха, что приводит к ускоренному развитию коррозии на обработанных деталях.

Унисма-1 – универсальная смазка, разработанная отечественными химиками в советское время в качестве конкурента WD-40. По своим свойствам она не уступает WD, а по некоторым из них даже превосходит последний. Однако Унисма-1 унаследовала и большинство рассмотренных выше недостатков WD-40.

Назвать смазочные материалы WD-40 и Унисма-1 полностью многофункциональными нельзя. Их применение сводится, в основном, к облегчению демонтажа заржавевших деталей. Применять их для постоянной смазки узлов и защиты их от коррозии не рекомендуется, так как в этом отношении они приобретают лишь кратковременный эффект.

В настоящее время на рынке представлено множество вариаций на тему WD-40 и Унисмы-1. И это неудивительно, так как технология производства подобных продуктов достаточно проста. Однако уже сегодня доступны смазочные материалы с более высокой проникающей способностью, имеющие принципиально иную формулу.

Molykote Multigloss – универсальный смазочный материал нового поколения с высокой проникающей способностью. Разработчикам Molykote Multigloss удалось совместить в своем составе продукта высокую проникающую способность, антикоррозионные и смазочные свойства. Такой результат достигнут благодаря включению в состав данной дисперсии качественных масел со сложной структурой и специальных твердых смазок.

Еще одним высокоэффективным и универсальным смазочным средством является продукт от компании «Эффективный Элемент» – EFELE UNI-M Spray. Данная проникающая смазка по заявленным характеристикам устойчива к нагрузкам и достаточно продолжительное время защищает от коррозии. Несущая способность и противоизносные свойства EFELE UNI-M Spray усилены за счет введения в его состав твердых антифрикционных наполнителей, а присутствие ингибиторов коррозии обеспечивают средству отличные антикоррозионные свойства.

По заявленным характеристикам схожими свойствами также обладают многоцелевая проникающая смазка ABRO AB-8, многофункциональный спрей LM 40, гибридная многоцелевая жидкая смазка Multi-Oil Hybrid, проникающая синтетическая мастер-смазка «Валера», автомобильная смазка RUSEFF RF-40 и смазочный материал CRC 5-56 PRO.

Достижения современной химии за последние 10...15 лет позволили разработчикам смазок включать в их состав специальные присадки, наполнители и модификаторы, тем самым создавать композицию составов, значительно превосходящие в проникающей способности прошлые аналоги. Такой подход позволил управлять различными свойствами смазок, обеспечивая высокую точность соответствия диапазону условий работы.

Результаты и их обсуждение. Для проверки и сравнения основных характеристик вышеописанных проникающих смазок с разработанным авторами новым составом были проведены следующие эксперименты.

Проникающая способность смазок была исследована методом измерения высоты подъема данной смазки на плоском капилляре. Плоский капилляр был изготовлен из двух экземпляров стекол размером 100 x 30 x 3 мм, соединенных друг с другом в верхней и нижней точках. Стекла перед соединением были очищены на установке ультразвуковой очистки и обезжирены техническим спиртом. Далее поочередно опускали соединенные стекла в ванну с каждым из вышеперассмотренных проникающих жидкостей высотой 1 мм на 3 минуты, затем замеряли высоту подъема жидкостей в плоском капилляре [8, 9, 10].

Принцип измерения высоты подъема проникающей жидкости в плоском капилляре продемонстрирован на рисунке 4.

1 – стеклянные пластины, $h_{\text{подъема}}$ – максимальная высота подъема проникающей жидкости

Рисунок 4 – Принцип измерения высоты подъема проникающей жидкости в плоском капилляре

Результаты эксперимента показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты эксперимента по измерению высоты подъема проникающих смазок в плоском капилляре

Название проникающих смазок, страна изготовления	Разработанный состав, Россия	WD-40, США	ABRO AB-8, США	LM-40, Германия	Multi-Oil Hybrid 72221, Германия	«Валера», Россия	RF-40, Россия	CRC 5-56 PRO, Бельгия	EFELE UNI-M Spray, Россия	Molykote Multigliss, Германия	Унисма-1, Россия
Высота подъема на плоском капилляре, мм	72	11	60	80	21	71	50	66	48	47	38

Далее следовало измерение и расчет процентного содержания сухого остатка проникающих смазок. Эксперимент проводился следующим образом. Каждый из тестируемых образцов

заливался в тигли в количестве 100 мг. Далее данные тигли устанавливались в сушильный шкаф при температуре 180 °С. Время температурного воздействия составляло 2 часа. Измерение разницы массы перед началом и после сушки производили на весах 2 класса точности. Результаты эксперимента по измерению сухого остатка в процентном отношении к исследуемому объему показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты измерения и расчета процентного содержания сухого остатка (активного вещества) проникающих смазок

Название проникающих смазок, страна изготовления	Разработанный состав, Россия	WD-40, США	ABRO AB-8, США	LM-40, Германия	Multi-Oil Hybrid 72221, Германия	«Валера», Россия	RF-40, Россия	CRC 5—56 PRO, Бельгия	EFELE UNI-M Spray, Россия	Molykote Multigloss, Германия	Унисма-1, Россия
Сухой остаток, %	48	43	38	60	77	34	54	80	47	88	46

Эксперимент по откручиванию резьбовых соединений проводился на образцах, которые заранее были подготовлены следующим образом. Комплекты не использованных ранее резьбовых соединений болт-гайка диаметром 10 мм и 12 мм перед искусственным коррозионным изнашиванием предварительно были очищены от возможных твердых загрязнений, защитных покрытий и различных консервационных смазок на установке ультразвуковой очистки, далее данные резьбовые соединения были обезжирены барботированием в ванне с применением обезжиривающей жидкости. После процедуры сушки в сушильном шкафу резьбовые соединения были зафиксированы между собой затягиванием гайки моментом силы равной 4,2 кгс/м. Активное коррозионное изнашивание резьбового соединения производилось опусканием данных резьбовых соединений в ванну с концентрированным раствором из технической соли (хлорида натрия). Для ускорения реакции коррозионного изнашивания раствор в ванне периодически барботировался и нагревался до температуры 60 °С. Активизация поверхности методом ультразвуковой очистки и обезжиривания способствовала ускоренной реакции металла испытуемых деталей, в основном изготавливаемых из нелегированных конструкционных сталей, с соляным раствором. После 24 воздействия соляного раствора образцы для тестирования были просушены в шкафу для сушки при температуре 30 °С в течении 1 часа. Основная часть эксперимента заключалась в измерении разницы между моментом откручивания резьбовых соединений, обработанных и необработанных исследуемыми проникающими жидкостями [11].

Средний момент силы откручивания необработанных проникающими жидкостями резьбовых соединений диаметром 10 мм составлял – 6,6 кгс/м, а диаметром 12 мм – 11 кгс/м соответственно. Момент откручивания необработанных проникающими смазками резьбовых соединений измерялся для 20 соединений диаметром 10 мм и 20 соединений диаметром 12 мм.

Результаты измерения момента силы откручивания резьбовых соединений болт-гайка, опущенных в ванны с исследуемыми проникающими смазками, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты измерения момента силы откручивания резьбовых соединений

Название проникающих смазок, страна изготовления			Разработанный состав, Россия	WD-40, США	ABRO AB-8, США	LM-40, Германия	Multi-Oil Hybrid 72221, Германия	«Валера», Россия	RF-40, Россия	CRC 5-56 PRO, Бельгия	EFELE UNI-M Spray, Россия	Molykote Multigloss, Германия	Унисма-1, Россия
Момент силы, кгс/м	Диаметр соединения, мм	10	3,7	4,9	4,5	4,5	4,4	4,4	5	5	5,2	4,3	4,3
		12	7,8	9	8,7	8,9	8,5	8,4	8,9	9,1	9,3	8,5	8,4

Следующим показателем эффективности проникающих смазок является антикоррозионная стойкость. Антикоррозионная стойкость является временной характеристикой, показывающей время защиты от различных коррозионно активных веществ. Данный показатель определялся в результате следующего эксперимента. На предварительно зашлифованную и обезжиренную поверхность листа металла, выполненной из идентичной резьбовым соединениям нелегированной конструкционной стали, нанесли 0,5 мг каждого из проникающих жидкостей. После распределения проникающей жидкости по поверхности металлического листа на данные проникающие жидкости нанесли концентрированный раствор хлорида натрия и фиксировали время образования первых участков поверхности с очагами коррозии [12]. Результаты эксперимента предоставлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты исследования антикоррозионной стойкости проникающих смазок

Название проникающих смазок, страна изготовления	Разработанный состав, Россия	WD-40, США	ABRO AB-8, США	LM-40, Германия	Multi-Oil Hybrid 72221, Германия	«Валера», Россия	RF-40, Россия	CRC 5—56 PRO, Бельгия	EFELE UNI-M Spray, Россия	Molykote Multigliss, Германия	Унисма-1, Россия
Антикоррозионная стойкость, ч	2	2,5	2,3	2,9	3,4	2,3	2,6	3	2,7	3,5	2,4

Заключение. Таким образом, следует иметь ввиду, что проникающие смазки с большим содержанием растворителей пагубно влияют на резиновые и пластмассовые детали, пыльники, кольца и другие детали, с которыми вступают в активную химическую реакцию. Следовательно, необходимо либо создать барьер, который не позволит попасть проникающим смазкам в данные участки с пластиковыми и резиновыми запчастями, либо иметь в наличии запас данных запчастей. Также существует обратный эффект, когда проникающую смазку с большим содержанием активного смазывающего вещества нецелесообразно использовать для разбора деталей с «прикипевшими» резьбовыми соединениями, так как в результате экспериментов было доказано, что проникающая способность данных составов обратно пропорциональна процентному содержанию смазывающих веществ.

На разработанный авторами состав проникающей смазки подана заявка на изобретение, поэтому компоненты данного состава в статье не раскрываются. По проведенным экспериментам разработанный состав может использоваться как средство борьбы против «прикипевших» резьбовых соединений. Достаточно низкая стоимость по сравнению с конкурентами решает вопрос экономической целесообразности использования нашей проникающей смазки. При этом стоит отметить, что достаточное содержание летучих веществ и растворителей способствуют тому, что данную проникающую смазку не рекомендуется использовать в качестве защитного покрытия для резьбовых соединений после ремонта какого-либо узла или агрегата СиАТ.

После ремонта агрегата СиАТ нанесение смазочной пленки или другого вещества, защищающей от коррозии и коррозионно-механического изнашивания позволит резьбовым соединениям не потерять свои основные крепежные свойства и упростить следующий технический осмотр и различные виды ремонта.

Список литературы

1. Беляков Н.В. Основы технологии машиностроения. Лабораторный практикум: Учебное пособие. Гриф МО РФ. – М.: ИНФРА-М. – 2016. – 529 с.
2. Романов В.А., Сафронов В.П., Полежаев В.П. Механическое оборудование карьеров: Учеб. пособие. – Тула: Изд-во ТулГУ. – 2007. – 450 с.
3. Авдеев А.П., Поляков А.Е. Коррозия и защита металлов: Краткий курс лекций. – Краматорск: ДГМА. – 2003. – 104 с.

4. Савосин С.А. Советы автомеханика: техобслуживание, диагностика, ремонт. – СПб.: BHV. – 2011. – 192 с.
5. Курчаткин В.В., Тараторкин В.М., Батищев А.Н. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве: Учебник для начального профессионального образования. – М.: ИЦ Академия. – 2012. – 464 с.
6. Виноградов В.М., Черепяхин А.А., Бухтеева И.В.. Техническое обслуживание и текущий ремонт автомобилей. Механизмы и приспособления: Учебное пособие. – М.: Форум. – 2019. – 312 с.
7. Кузнецов А.В. Топливо и смазочные материалы: учеб. для студ. вузов, обучающихся по спец. 311300 «Механизация сельского хоз-ва». – М.: Колос С. – 2004. – 199 с.
8. Глинка Н.Л. Общая химия: Учебник для академического бакалавриата. – Люберцы: Юрайт. – 2016. – 729 с.
9. Каневский И.Н., Сальникова Е.Н. Неразрушающие методы контроля: учебное пособие. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ. – 2007. – 243 с.
10. Неразрушающий контроль: справочник. В 8 т. / Под ред. академика РАН В.В. Клюева. – М.: Машиностроение. – 2006. – 656 с.
11. Горицкий В.М. Диагностика металлов. – М.: Металлургиздат. – 2004. – 402 с.
12. Хрущева И.В., Щербаков В.И., Леванова Д.С. Общая и неорганическая химия: Учебник. – СПб.: Лань П. – 2016. – 496 с.

References

1. Beljakov N.V. Osnovy tehnologii mashinostroenija. Laboratornyj praktikum: Uchebnoe posobie. Grif MO RF. – М.: INFRA-M. – 2016. – 529 с.
2. Romanov V.A., Safronov V.P., Polezhaev V.P. Mehanicheskoe oborudovanie kar'erov: Ucheb. posobie. – Tula: Izd-vo TulGU. – 2007. – 450 s.
3. Avdeenko A.P., Poljakov A.E. Korrozija i zashhita metallov: Kratkij kurs lekcij. – Kramatorsk: DGMA. – 2003. – 104 s.
4. Savosin S.A. Sovety avtomehanika: tehobsluzhivanie, diagnostika, remont. – SPb.: BHV. – 2011. – 192 с.
5. Kurchatkin V.V., Taratorkin V.M., Batishhev A.N. Tehnicheskoe obsluzhivanie i remont mashin v sel'skom hoz'jajstve: Uchebnik dlja nachal'nogo professional'nogo obrazovanija. – М.: IC Akademiya. – 2012. – 464 с.
6. Vinogradov V.M., Cherepahin A.A., Buhteeva I.V.. Tehnicheskoe obsluzhivanie i tekushhij remont avtomobilej. Mehanizmy i prispособlenija: Uchebnoe posobie. – М.: Forum. – 2019. – 312 с.
7. Kuznecov A.V. Toplivo i smazochnye materialy: ucheb. dlja stud. vuzov, obuchajushhihsja po spec. 311300 «Mehanizacija sel'skogo hoz-va». – М.: Kolos S. – 2004. – 199 s.
8. Glinka N.L. Obslhaja himija: Uchebnik dlja akademicheskogo bakalavriata. – Ljubercy: Jurajt. – 2016. – 729 с.
9. Kanevskij I.N., Sal'nikova E.N. Nerazrushajushhie metody kontrolja: uchebnoe posobie. – Vladivostok: Izd-vo DVGTU. – 2007. – 243 с.
10. Nerazrushajushhij kontrol': spravochnik. V 8 t. / Pod red. akademika RAN V.V. Kljueva. – М.: Mashinostroenie. – 2006. – 656 s.
11. Gorickij V.M. Diagnostika metallov. – М.: Metallurgizdat. – 2004. – 402 с.
12. Hrushheva I.V., Shherbakov V.I., Levanova D.S. Obslhaja i neorganicheskaja himija: Uchebnik. – SPb.: Lan' P. – 2016. – 496 с.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Ломовских Александр Егорович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж, e-mail: lomovskih1979@yandex.ru.

Сазонов Сергей Николаевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский

научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: snsazon@mail.ru.

Щепелев Андрей Юрьевич – кандидат технических наук, заместитель начальника кафедры Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж.

Армянинов Иван Сергеевич – оператор научной роты Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж, e-mail: ivan.armyaninov1995@gmail.com.

Маматказин Тимур Рифатович – оператор научной роты Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж, e-mail: mtrt@mail.ru.

Прилепин Олег Евгеньевич – оператор научной роты Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж.

Author credentials

Affiliations

Lomovskih Alexander – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh, e-mail: lomovskih1979@yandex.ru.

Sazonov Sergey – Full Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: snsazon@mail.ru.

Shepelev Andrey – Candidate of Technical Sciences, deputy head of faculty of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh.

Armyaninov Ivan – scientific company operator of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh, e-mail: ivan.armyaninov1995@gmail.com.

Mamatkazin Timur – scientific company operator of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh, e-mail: mtrt@mail.ru.

Prilepin Oleg – scientific company operator of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh.

Поступила в редакцию (Received): 12.11.2020 Принята к публикации (Accepted): 16.12.2020