

Е. В. БЫКОВА, канд. техн. наук, доцент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева», Российская Федерация, г. Москва

E. V. BYKOVA, Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev", Russian Federation, Moscow

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПЕРФТОРИРОВАННЫХ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ СОХРАНЯЕМОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

EQUIPMENT FOR APPLICATION OF PERFLUORINATED PROTECTIVE COATINGS TO IMPROVE STORABILITY OF AGRICULTURAL MACHINERY

Аннотация. Приведены свойства перфторированных нанодобавок и защитных лакокрасочных материалов, модифицированных ими. Показана эффективность лакокрасочных материалов, модифицированных перфторированными наноматериалами, в защите сельскохозяйственных машин и тракторов от атмосферных воздействий и коррозии. Рассмотрены способы нанесения лакокрасочных материалов, модифицированных перфторированных наноматериалов. Практически проверена гипотеза об эффективности распылителя для нанесения перфторированных наноматериалов, имеющего параболическую камеру распыла. Эта гипотеза вытекает из особенностей физических (гидродинамических) свойств перфторированных наноматериалов. Приведены результаты испытаний распылителей при нанесении лакокрасочных материалов, модифицированных перфторированных наноматериалов, на сельскохозяйственные машины. По результатам испытаний можно рекомендовать ультразвуковые распылители с параболической камерой распыла как оборудование, позволяющее получать наиболее качественное защитное лакокрасочное покрытие, позволяющие улучшать сохраняемость и надежность сельскохозяйственной техники.

Ключевые слова: защита, сохраняемость, безотказность, надежность сельскохозяйственной техники; защитные лакокрасочные покрытия; перфторированные соединения; оборудование для нанесения лакокрасочного покрытия; распылители с параболической камерой.

Abstract. The properties of perfluorinated additives and protective coatings, modified them are given. The efficiency of paint materials modified by perfluorinated nanomaterials in the protection of agricultural machines and tractors from atmospheric influences and corrosion is shown. The methods of application of paints, modified perfluorinated nanomaterials are considered. The hypothesis of the efficiency of a sprayer for the application of perfluorinated nanomaterials with a parabolic spray chamber has been practically tested. This hypothesis follows from the features of the physical (hydrodynamic) properties of perfluorinated nanomaterials. The results of tests of nozzles when applying the paint materials modified with perfluorinated nanomaterials on agricultural machines. According to the test results, ultrasonic sprayers with a parabolic spray chamber can be recommended as equipment that allows to obtain the highest quality protective paint coating, allowing to improve the safety and reliability of agricultural machinery.

Keywords: security, persistence, reliability, reliability of agricultural machinery; protective coatings; perfluorinated compounds; equipment for paint application; spray with a parabolic camera.

Введение

Высокая работоспособность, безотказность и надежность сельскохозяйственной техники – одно из необходимых условий эффективности производства. Важнейшим принципом современного механизма хозяйствования является внедрение передовых методов ремонта и обслуживания техники, сочетающееся с требованиями экономии материальных ресурсов. Перспективным направлением повышения сохраняемости, безотказности и надежности техники является использование наноматериалов для защиты ее поверхностей от воздействия атмосферных, биологических, химических факторов, приводящих к разрушению техники, в том числе коррозионному.

Современная химическая промышленность предлагает значительный ассортимент активных соединений и рецептур, предназначенных для защиты поверхностей, ремонта техники. Ряд из них требует тщательной предварительной подготовки поверхностей. Другие можно наносить на неподготовленную поверхность. Например, в ГОСНИТИ разработан метод окрашивания сельскохозяйственной техники непосредственно по ржавой поверхности, обработанной активными веществами – модификаторами. Существуют препараты, которые при нанесении на твердую поверхность, образуют защитную пленку, состоящую из молекул поверхностно-активных веществ (ПАВ), ориентированных определенным образом и изменяющих поверхностную энергию. Доказано, что наиболее активно действуют наноматериалы [1].

Цель исследования – теоретическое и экспериментальное изучение оборудования для нанесения ЛКП, модифицированных ПФНМ, на защищаемые поверхности сельскохозяйственных машин; анализ особенностей его работы; подбор конструкции распылителя для нанесения ЛКП на сельскохозяйственную технику для улучшения ее сохраняемости, безотказности и надежности.

Материалы и методы

Эффективные нанопрепараты могут быть созданы на основе перфторированных органических соединений, обладающих комплексом уникальных свойств. Углеродная цепь этих веществ находится в

максимально окисленном состоянии. Этим объясняется химическая инертность фторуглеродных цепей. Они не взаимодействуют с органическими веществами, стойки к окислению, гидролизу, сольволизу и другим химическим процессам [2]. Доказано, что защитные покрытия, сформированные на основе перфторированных соединений, обеспечивают защиту поверхностей техники от электрохимической, химической и биокоррозии, проникновения влаги в пористые и волокнистые структуры, старения полимерных материалов и РТИ [3].

Особенностью перфторированных соединений является то, что они представляют собой углеродные цепи, в которых все атомы водорода замещены атомами фтора. Фторуглеродные цепи, по сути, являются «молекулярными стержнями», обладающими осевой симметрией и покрытыми «защитной оболочкой» из атомов фтора. Они характеризуются прочностью внутримолекулярных и слабостью межмолекулярных связей. Молекулы фторуглеродов практически не взаимодействуют между собой, вследствие чего являются псевдопластическими жидкостями с низким внутренним трением [4].

Особенности их гидродинамических свойств приведены на рисунке 1 (кривая 2). При движении перфторированных жидкостей относительно условных неподвижных поверхностей напряжение внутреннего трения (τ) не находится в прямой зависимости от градиента скорости сдвига $\left(\frac{dw}{dh}\right)$.

Коэффициент динамической вязкости перфторированных соединений не является постоянным, а изменяется в зависимости

от величины градиента сдвига $\left(\frac{dw}{dh}\right)$. В зоне

эффективных концентраций значение динамической вязкости перфторированных жидкостей (μ_k) ниже, чем у обычной (ньютоновской) жидкости. Характер изменения вязкости перфторированных соединений связан с ориентацией молекул в направлении перемещения жидкости слабым межмолекулярным взаимодействием и, как следствие, «проскальзыванием» молекул друг относительно друга [5, 6].

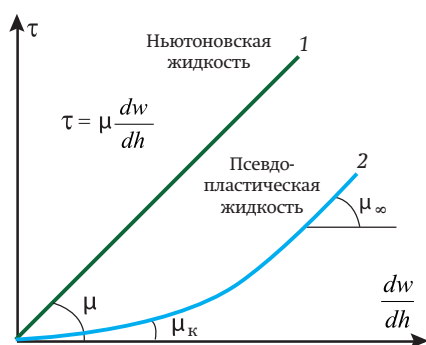


Рисунок 1 – Особенности гидродинамических свойств перфторированных жидкостей. Кривые течения (зависимости между напряжением внутреннего трения τ и скоростью сдвига $\left(\frac{dw}{dh}\right)$):

1 – ньютоновская (обычная) жидкость: μ – динамическая вязкость; 2 – псевдопластическая жидкость: μ_k – динамическая (кажущаяся) вязкость, μ_∞ – вязкость при бесконечно большом сдвиге [5]

Вследствие особых свойств перфторированных модификаторов лакокрасочные материалы (ЛКМ), созданные с их применением, требуют специального оборудования для нанесения. Традиционный способ нане-

сения кистью малоэффективен и для таких высокотехнологичных материалов не рассматривается. В работах С. М. Гайдара [7] и М. Ю. Карелиной [8] показано, что нанесение перфторированных соединений обычным распылителем затруднено, так как формируется нестандартный факел распыла, не обеспечивающий равномерность нанесения, отсутствие потеков. Кроме того, затруднена регулировка толщины и равномерности покрытия.

Исходя из того, что в целом гидродинамическая характеристика течения перфторированных жидкостей близка к полиномиальной кривой второго порядка (параболе) (рисунок 1, кривая 2), сформулирована рабочая гипотеза, что для распыления ЛКМ, модифицированных перфторированными наноматериалами (ПФНМ), наилучшим образом подходят распылители, имеющие параболическую камеру распыла (диффузор). Техническое средство (распылитель) такого типа предложено М. Ю. Карелиной [8]. На рисунке 2 представлена конструктивная схема распылителя. Данный распылитель являлся объектом испытаний в настоящей работе.

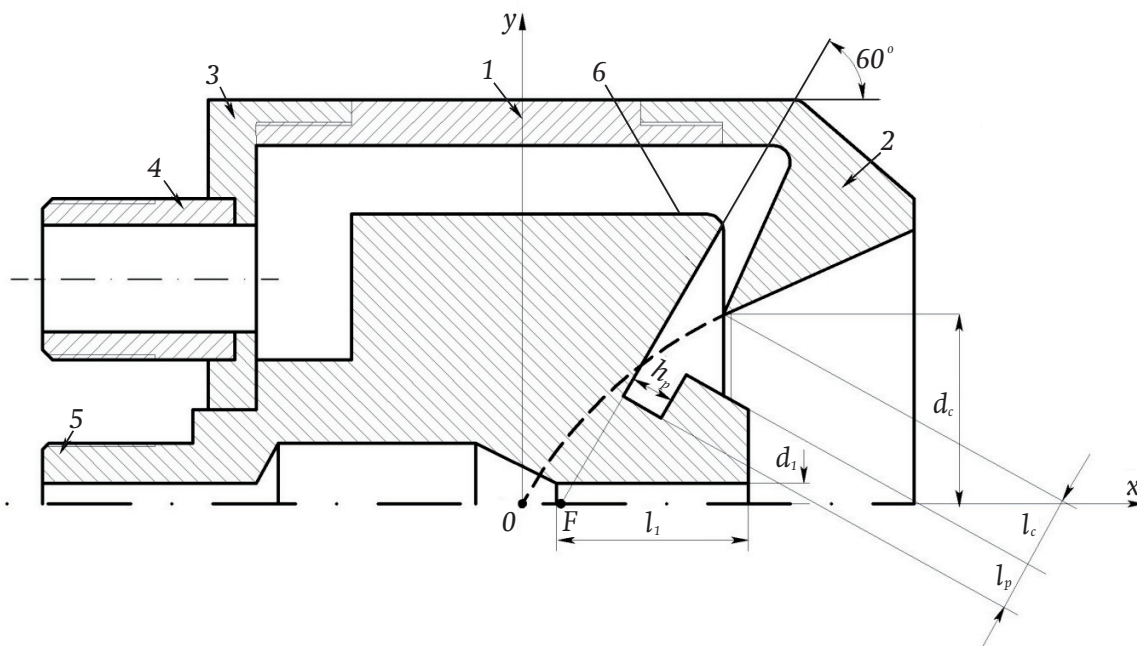


Рисунок 2 – Конструктивная схема распылителя: 1 – корпус; 2 – резонаторная втулка; 3 – торцевая крышка; 4, 5 – штуцеры; 6 – центральное цилиндрическое тело

Резонаторная втулка 2 выполнена как единое целое с параболическим диффузором. Коаксиально корпусу на торцевой крышке 3 укреплено центральное цилинд-

рическое тело 6 с каналом для прохода распыляемого состава; поверхность дна резонаторной втулки 2 наклонена под углом 60° в сторону торцевой крышки 3, а на свободной

торцевой поверхности центрального цилиндрического тела 6 выполнена у его выходного отверстия наклонная под углом 60° проточка, направление наклона проточки совпадает с направлением наклона дна резонаторной втулки. При этом одна из стенок проточки, ближайшая к выходному отверстию, лежит в одной плоскости с поверхностью дна втулки.

Установка выполнена с возможностью сообщения при помощи штуцеров полости между внутренней поверхностью цилиндрического корпуса и наружной поверхностью центрального цилиндрического тела с ресивером, а емкости с ЛКМ – с каналом центрального цилиндрического тела 6.

Пересечением дна с параболической поверхностью диффузора образуется выходное отверстие распылителя. Фокус F параболического диффузора находится в точке пересечения с осью распылителя поверхностей, выполненных с наклоном 60° (после пересечения с поверхностью резонаторной втулки парабола показана пунктиром). O – вершина параболы, образующей внутреннюю поверхность диффузора (начало координат $X - Y$). Таким образом, центральное цилиндрическое тело выполнено с кольцевым выступом, образованным наклонной проточкой и расположенным на входе в диффузор, который образует с параболическим диффузором выходную резонансную полость [8].

Параболическая конструкция распыливающего узла должна обеспечивать качественное равномерное распределение ЛКМ, модифицированных ПФНМ, и, как следствие, образование качественных защитных покрытий.

Дополнительно равномерность распределения частиц перфторированных соединений на поверхностях может достигаться за счет придания распыляемому лакокрасочному материалу ультразвуковых колебаний, изменяющихся по сечению газового (воздушного) потока. Такие ультразвуковые распылители конкурируют с традиционными установками с беспульсационной подачей материала. В опыте использованы как традиционная установка, так и ультразвуковой распылитель [9], усовершенствованный С. М. Гайдаром и М. Ю. Карелиной. Принципиальная схема ультразвуковой установки

распылителя приведена на рисунке 3.

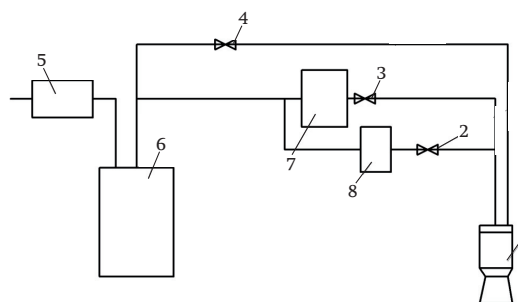


Рисунок 3 – Принципиальная схема установки: 1 – распылитель; 2–4 – трубопроводы с клапанами; 5 – компрессор; 6 – ресивер; 7 – емкость с ЛКМ, модифицированных ПФНМ; 8 – емкость с моющей жидкостью

Установка для нанесения включает ресивер с газом, емкость с раствором ЛКМ, модифицированных ПФНМ, систему трубопроводов, клапанов и распылитель. Распылитель имеет цилиндрический корпус, выполнен с параболическим диффузором.

Работа установки осуществляется следующим образом: открывается клапан 3, и газ из ресивера 6 подается в полость, образованную внутренней поверхностью корпуса и поверхностью коаксиального центрального тела. Поток газа отклоняется поверхностью наклонного дна резонаторной втулки, отбрасывается навстречу потоку и выбрасывается вместе с ним из резонаторной втулки, создавая с параболическим диффузором резонанс. Одновременно открывается клапан 3, и ЛКМ, модифицированный ПФНМ, вытесняется из емкости 7 в резонансную полость. Энергия акустических колебаний генерируется воздушным потоком, поступающим в резонансную полость. Под воздействием этих колебаний струя ЛКМ, поступающая из осевого отверстия цилиндрического центрального тела, дробится на мелкие капли, которые вместе с воздушной струей образуют факел распыляемого раствора. Благодаря наличию ультразвуковых колебаний обеспечивается равномерное распыление ЛКМ на поверхность обрабатываемого изделия, а частицы, не закрепившиеся на изделии, уносятся с его поверхности высоконапорным воздушным потоком.

Данный ультразвуковой распылитель, с перечисленными особенностями, являлся объектом испытаний в настоящей работе. Массогабаритные параметры распылителя:

$d_c = 15$ мм; $d_1 = 1,5$ мм; $l_p = 2$ мм; $h_p = 1,5$ мм; с профилем по параболе $y = 6x^2$.

Расход газа (воздуха) $G_r = 60$ г/с и расход жидкости (ЛКМ) $G_{ж} = 18$ г/с (при концентрации ПФНМ в растворе 3,0 %).

В качестве ПФНМ использовали перфторполиэфирную кислоту, в качестве растворителя – перфторметилциклогексан.

Температура продуваемого воздуха в магистрали $T_m = 32$ °С.

На очищенные и обезжиренные пластины из дюралюминия размерами 200×200 мм наносили покрытие на основе раствора ЛКМ, модифицированных ПФНМ. Повторность эксперимента в каждом варианте – пятикратная.

Нанесение материала на пластины осуществлялось путем воздействия распыляемой струи в течение 3 с. Фиксацию и визуализацию формы факела распыла осуществляли с помощью цифрового фотоаппарата. После обработки пластин раствором и испарения растворителя проводили термофиксацию покрытия при температуре 100° в течение 30 мин.

О качестве полученного на поверхности покрытия и посредством этого об эффективности тех ли иных распылителей для ЛКМ, модифицированных ПФНМ, судили по величине изменения поверхностной энергии, количественно измеряемой величиной краевого угла смачивания. Краевой угол смачивания θ – это угол, который образует капля жидкости, нанесенная на поверхность твердого тела, с твердой поверхностью. Он измеряется как угол между касательной АВ к поверхности жидкости и твердой поверхности [10].

При измерении краевого угла смачивания использовали эталонное масло МН-60 ГОСТ 8781–71, маслодозировку лопаточного типа. Непосредственно для измерения – цифровой измерительный оптический микроскоп типа LOMO Prima Expert. Для оценки качества покрытий на каждую пластину наносили по 5 капель масла.

После перечисленных процедур про-

изводили обработку пластин моечной жидкостью (водой) при температуре 50 °С и расходом 60 г/с в течение 3 с. После промывки повторно оценивали качество ЛКП, измеряя краевой угол смачивания по методике, приведенной выше.

Результаты и их обсуждение

На рисунке 4 представлены фотографии форм факелов распыла ЛКМ, модифицированных ПФНМ, различными типами распылителей.

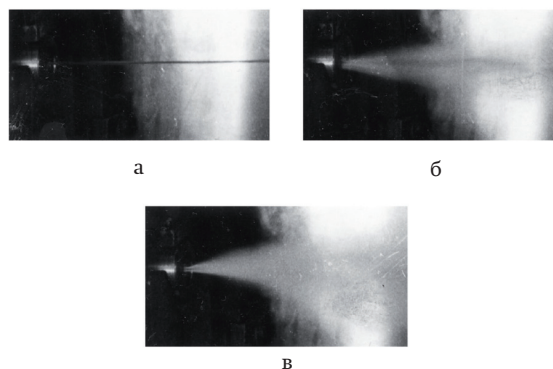


Рисунок 4 – Формы факелов распыла различными типами распылителей: а – традиционный распылитель; б – распылитель с параболической камерой распыла; в – ультразвуковой распылитель с параболической камерой распыла

Анализ фотографий факелов распыла ЛКМ, модифицированных ПФНМ, показывает, что при их нанесении традиционными распылителями не образуется равномерного (конического) факела распыла. ЛКМ из форсунки выходит тонкой струей, что очевидно не может обеспечить равномерности нанесения материала. Распылитель с параболической распылительной камерой и беспульсационной подачей обеспечивает существенно лучший факел распыла. Факел распыла – конический симметричный. Однако по центру факела также наблюдается наличие струи ЛКМ, что может негативно сказываться на равномерности нанесения. Наилучшие результаты получены при использовании ультразвукового распылителя с параболической камерой. Факел распыла – конический равномерный.

Таблица 1 – Краевые углы смачивания обработанных поверхностей (среднее арифметическое по пяти повторностям)

Традиционный распылитель	Распылитель с параболической камерой распыла и беспульсационной подачей ЛКМ	Ультразвуковой распылитель с параболической камерой распыла
Менее 5°	45°	52°

Эти данные подтверждаются результатами измерения краевых углов смачивания окрашенных поверхностей. Результаты – в таблице 1.

Результат измерений в варианте распылителя с параболической камерой распыла в 9 раз превышает результат контрольного варианта (традиционный распылитель), что свидетельствует о правильности выдвинутой гипотезы, т. е. высокой эффективности применения параболической камеры распыла, наилучшим образом соответствующей гидродинамическим свойствам ЛКМ, модифицированных ПФНМ. Данный вывод подтверждается и результатами испытаний ультразвукового распылителя с параболической камерой. В данном случае краевой угол

смачивания обработанной поверхности более чем в 10 раз превосходит контрольный вариант. Сравнение УЗВ-распылителя (вариант 3) с распылителем с беспульсационной подачей (вариант 2) показывает улучшение результатов на 15 %. В целом наибольший эффект дает применение параболической камеры распыла, а колебательный процесс, создаваемый ультразвуком, усиливает достигнутый результат. Достигнутая величина смачивания (52°) свидетельствует о более упорядоченном слое молекул перфторированных соединений и образовании хемосорбционных слоев.

Результаты измерений краевых углов смачивания после промывки пластин представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Краевые углы смачивания обработанных поверхностей после промывки (среднее арифметическое по пяти повторам)

Традиционный распылитель	Распылитель с параболической камерой распыла и беспульсационной подачей ЛКМ	Ультразвуковой распылитель с параболической камерой распыла
Менее 5°	48°	56°

Сравнение результатов в контрольном варианте без и при наличии промывки ожидаемо показало отсутствие изменений. При этом отмечено увеличение краевых углов смачивания поверхностей после промывки в обоих вариантах испытаний распылителей с параболической камерой. В варианте 2 после промывки краевой угол смачивания увеличился на 3°, в варианте 3 – на 4°. Это свидетельствует о целесообразности последующей промывки обработанной поверхности, учитывая, что для этого используется то же оборудование, что и при окрашивании, и процедура может быть осуществлена в рамках одного технологического процесса. Увеличение угла смачивания при проведе-

нии испытаний с использованием описанной установки свидетельствует о формировании квазикристаллической структуры мономолекулярного слоя, т. е. о более плотной упаковке молекул перфторированных соединений на поверхности пластины. Таким образом, установка, обеспечивающая создание ультразвукового потока воздуха и распыляемых капель раствора модифицированного ЛКМ, обеспечила достижение технического результата: получение более равномерной и качественной пленки ЛКП, эффективно защищающей поверхности сельскохозяйственной техники, повышающей сохраняемость, безотказность и надежность сельскохозяйственной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пучин Е. А., Гайдар С. М. Хранение и противокоррозионная защита сельскохозяйственной техники: учебное пособие. М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2011. 512 с.
2. Промышленные фторорганические продукты: Справочное издание / Б. Н. Максимов [и др.]. СПб. : Химия. 1996.
3. Гайдар С. М. Теория и практика создания ингибиторов коррозии для консервации сельскохозяйственной техники: Монография. М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2011. 304 с.
4. Гайдар С. М. Защита сельскохозяйственной техники от коррозии и износа с применением нанотехнологий: дис. ... доктора техн. наук: 05.20.03 / Гайдар Сергей Михайлович / Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина. М. , 2011. 433 с.
5. Гайдар С. М., Быкова Е. В. Применение наномодификатора в качестве эмульгирующей добавки для органорастворяемых лакокрасочных материалов // Техника и оборудование для села. № 4. 2016. С. 39–40.

6. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М. : Химия, 1971.
7. Гайдар С. М. Применение нанотехнологий для повышения надежности машин и механизмов // Грузовик. 2010. № 10. С. 38–41.
8. Гайдар С. М., Карелина М. Ю. Инновационное техническое средство для нанесения защитной молекулярной пленки на поверхность машин // Техника и оборудование для села. 2015. № 3. С. 26–28.
9. Физические основы ультразвуковой техники / Под ред. Л. Д. Розенберга. М. : Наука, 1970. 224 с.
10. Гайдар С. М., Быкова Е. В., Карелина М. Ю. Перспективы использования лакокрасочных материалов, модифицированных фторсодержащими поверхностно-активными веществами, для защиты сельхозтехники // Техника и оборудование для села. 2015. № 7. С. 34–38.

REFERENCES

1. Puchin E. A., Gaydar S. M. Khranenie i protivokorroziionnaya zashchita sel'skokhozyaystvennoy tekhniki: uchebnoe posobie. M. : FGNU «Rosinformagrotekh», 2011. 512 s.
2. Promyshlennyye ftororganicheskiye produkty: Spravochnoe izdanie / B. N. Maksimov [i dr.] – SPb. : Khimiya. 1996.
3. Gaydar S. M. Teoriya i praktika sozdaniya ingibitorov korrozii dlya konservatsii sel'skokhozyaystvennoy tekhniki: Monografiya. M. : FGNU «Rosinformagrotekh», 2011. 304 s.
4. Gaydar S. M. Zashchita sel'skokhozyaystvennoy tekhniki ot korrozii i iznosa s primeneniem nanotekhnologii: dis. ... doktora tekhn. nauk: 05.20.03 / Gaydar Sergey Mikhaylovich / Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V. P. Goryachkina. M. , 2011. 433 s.
5. Gaydar S. M., Bykova E. V. Primenenie nanomodifikatora v kachestve emul'giruyushchey dobavki dlya organorazbavlyaemykh lakokrasochnykh materialov // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2016. № 4. S. 39–40.
6. Kasatkin A. G. Osnovnyye protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii. M. : Khimiya, 1971.
7. Gaydar S. M. Primenenie nanotekhnologii dlya povysheniya nadezhnosti mashin i mekhanizmov // Gruzovik. 2010. № 10. S. 38–41.
8. Gaydar S. M., Karelina M. Yu. Innovatsionnoe tekhnicheskoe sredstvo dlya naneseniya zashchitnoy molekulyarnoy plenki na poverkhnost' mashin // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2015. № 3. S. 26–28.
9. Fizicheskie osnovy ul'trazvukovoy tekhniki / Pod red. L. D. Rozenberga. M. : Nauka, 1970. 224 p.
10. Gaydar S. M., Bykova E. V., Karelina M. Yu. Perspektivy ispol'zovaniya lakokrasochnykh materialov, modifitsirovannykh ftorsoderzhashchimi poverkhnostno-aktivnymi veshchestvami, dlya zashchity sel'khoztekhniki // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2015. № 7. S. 34–38.

Быкова Елена Владимировна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Сельскохозяйственные машины»
Тел. 8-916-497-38-55
E-mail: bykeleva@bk.ru
127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49