

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ / TECHNOLOGIES AND MEANS OF MAINTENANCE IN AGRICULTURE

УДК 629.3.025.2

DOI: 10.15507/2658-4123.029.201901.108-123



Синтез и изучение свойств стабилизатора металлического порошка в смазочной композиции

**В. В. Сафонов^{1*}, В. В. Остриков², В. В. Венскайтис¹,
К. В. Сафонов¹, А. С. Азаров¹**

¹ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный
университет им. Н. И. Вавилова» (г. Саратов, Россия)

²ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский
институт использования техники и нефтепродуктов
в сельском хозяйстве» (г. Тамбов, Россия)

*safonov2010sgau@yandex.ru

Введение. Современные технологии получения порошкообразных материалов позволяют получать частицы с размерами 0,1–0,5 мкм. Порошки с такой дисперсностью обладают очень высокой поверхностной энергией и, как следствие, уникальными свойствами. Данные порошки применяются в качестве добавок к моторному маслу как средство образования поверхностной пленки с высокими трибологическими свойствами. Однако широкое применение ультра-наноразмерных порошкообразных материалов как добавок к маслу ограничивается их седиментацией и агрегацией частиц. В результате размеры кристаллов металла увеличиваются до нескольких десятков мкм и начинают задерживаться масляными фильтрами двигателей, что приводит к снижению их эффективности и даже к забиванию маслопроводящих каналов, а также схватыванию трущихся поверхностей деталей. Наиболее технически грамотным решением для придания смазочной композиции седиментационной устойчивости является использование химических стабилизаторов, образующих на поверхности частиц металла тончайшую пленку, которая не только препятствует агрегации частиц, но и длительное время удерживает их в суспензии во взвешенном состоянии.

Материалы и методы. В качестве стабилизаторов дисперсных металлических порошков в смазочных композициях применяются органические соединения различных классов. В статье приведены результаты анализа ряда стабилизаторов дисперсных металлических порошков и предложены новые составы: апиэзон МН, полиэтиленгликольсебацнат и товарный стабилизатор апиэзона L. Описан синтез данных стабилизаторов и методика изучения их стабилизационной активности.

© Сафонов В. В., Остриков В. В., Венскайтис В. В., Сафонов К. В., Азаров А. С., 2019



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Результаты исследования. Представлены результаты анализа стабилизационной активности разработанных препаратов в сравнении с базовым вариантом – олеиновой кислотой. Полученные данные показывают, что добавка сложного эфира этиленгликольсебацата не оказала стабилизирующего действия на смазочную композицию. Синтезированный препарат апиезон МН и товарный реагент апиезон L проявляют стабилизационные свойства в отношении металлических порошков смазочной композиции, сравнимые со свойствами олеиновой кислоты.

Обсуждение и заключение. Поскольку апиезоновые смазки представляют собой смесь углеводородов, их коррозионная активность значительно ниже, чем у олеиновой кислоты, поэтому их можно рекомендовать для практического использования.

Ключевые слова: смазочная композиция, ультрадисперсный порошок, стабилизатор, седиментационная устойчивость, углеводородный стабилизатор, апиезон, сложный эфир полиэтиленгликольсебацат, олеиновая кислота

Для цитирования: Синтез и изучение свойств стабилизатора металлического порошка в смазочной композиции / В. В. Сафонов [и др.] // Инженерные технологии и системы. 2019. Т. 29, № 1. С. 108–123. DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.029.201901.108-123>

The Synthesis and Study of Metal Powder Stabilizer Properties in Lubrication Compositions

V. V. Safonov^{1*}, V. V. Ostrikov², V. V. Venskaytis¹,
K. V. Safonov¹, A. S. Azarov¹

¹*Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov (Saratov, Russia)*

²*All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture (Tambov, Russia)*

*safonov2010sgau@yandex.ru

Introduction. Modern manufacturing technologies of powder materials allow obtaining particles sized 0.1–0.5 μm . Powders with such dispersion have a very high surface energy and, consequently, unique properties. Powders with a given size can be used as an additive to motor oil to form the surface film with high tribological properties. However, the widespread use of ultra-nanoscale powder materials as additives to motor oil limits sedimentation and aggregation of the particles. As a result, the dimensions of the metal crystals increase to dozens of microns and their particles are then retained by oil filters of engines that leads to efficiency decrease and even to clogging oil-conducting channels and to setting the friction surfaces of the parts. The most technically competent solution for increasing sedimentation resistance of the lubricant composition is the use of chemical stabilizers forming the thinnest film at the surface of metal particles, which not only hinders particle aggregation, but also keeps them suspended for a long time.

Materials and Methods. As stabilizers of dispersed metal powders in lubricant compositions, organic compounds of various classes are used. The analysis of several stabilizers of disperse metal powders is given in the paper and new compositions are proposed: apiezon MN, polyethylene glycol sebacate and commodity stabilizer apiezon L. The methods of stabilizers synthesis and examination of their activity are described.

Results. The stabilization activity of the developed preparations was compared to the basic version: oleic acid. Addition of the ester of ethylene glycol sebacate had no stabilizing effect on the lubricant composition. The synthesized MN and Mg reagent apiezon L show stabilizing properties with respect to metallic powders of the lubricant composition, comparable with the properties of oleic acid.

Discussion and Conclusion. Since apiezon greases are a mixture of hydrocarbons, their corrosivity is much lower than that of oleic acid, they can be recommended for practical use.

Keywords: lubricant composition, ultrafine powder, stabilizer, sedimentation stability, hydrocarbon stabilizer, apiezon, polyethylene glycol-colesebacinat ester, oleic acid

For citation: Safonov V.V., Ostrikov V.V., Venskaytis V.V., Safonov K.V., Azarov A.S. The Synthesis and Study of Metal Powder Stabilizer Properties in Lubrication Compositions. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2019; 29(1):108-123. DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.029.201901.108-123>

Введение

Использование мелкодисперсных металлических порошков в качестве наполнителей моторных масел с целью реметаллизации трущихся поверхностей началось в 70-х гг. XX в. Практическое применение подобных технологий стало возможным благодаря разработке процесса получения чрезвычайно мелких (нанокристаллических) частиц различных металлов и сплавов. Диспергирование металла производится либо конденсацией металлического газа в условиях искусственно созданного глубокого вакуума, либо методом ультразвукового диспергирования. Такие технологии позволяют получать частицы размером не более 0,3 мкм¹.

Известный способ получения устойчивых коллоидных растворов, содержащих стабилизированные порошки металлов с частицами размером 30–100 нм, представляет собой электрохимическое восстановление металла на катоде, в ультразвуковом поле и водно-органическом растворе электролита с растворимым анодом. Формирующиеся на электроде кластеры сбиваются с его поверхности ультразвуком и стабилизируются поверхностно-активным веществом [1; 2].

Существует технология получения ультра-нанодисперсного порошка методом плазменной перекомденсации, основанной на испарении крупнодисперсного порошка (сырья) или прутка необходимого металла в плазменном потоке с температурой до

6 000–8 000 °К и конденсации пара до требуемого размера. Полученные таким образом частицы характеризуются следующими параметрами: размер частиц – 0,01–0,03 мкм, удельная поверхность – 100–150 м²/г [3]. Частицы, сформированные в таких условиях, имеют строго сферическую форму и, вследствие этого, уникальные свойства. Механизм действия препарата основан на том, что частицы такого малого размера обладают очень высокой поверхностной энергией и, помещенные в моторное масло, легко взаимодействуют с трущимися деталями двигателя и мельчайшими частицами износа.

Нанокристаллические частицы попадают в дефект поверхности, притягиваются им и остаются на поверхности. Частицы обладают эффектом дальнего действия, т. е. притягивают к себе сверхтонкие частицы износа. В результате образуется слой с особой структурой, который обладает пластичностью и износостойкостью. Этот вновь образованный слой уменьшает и компенсирует износ в процессе эксплуатации. Регулярное применение автопрепаратов с ультра-нанодисперсными металлическими порошками позволяет увеличить ресурс двигателя минимум в 2 раза [4–6].

Наряду с порошками металлов, их механических смесей, оксидов, бинарных сплавов в качестве твердой фазы для смазочных композиций часто применяются ультра-наноразмерные порошки графита, алмазов, дисульфидов

¹ Елисеев А. А., Лукашин А. В. Функциональные наноматериалы ; под ред. Ю. Д. Третьякова. М. : Физматлит, 2010. 456 с.

молибдена и вольфрама, а также природных минералов.

Добавка Wagner Universal Micro-Ceramic Oil, применяемая в двигателях и механических коробках передач, содержит мельчайшие керамические частицы нитрида бора. Атомарный кондиционер металла Maximum Transmission for Diesel Truck для автоматических трансмиссий представляет собой двухкомпонентный продукт, который объединяет в себе ревитализант 3-го поколения и кондиционер металла. Средство формирует на рабочих поверхностях металлокерамическое покрытие, благодаря чему восстанавливается геометрия деталей, а также компенсируется износ деталей АКП [7–9].

Среди металлосодержащих добавок отечественного производства известны Кластер, РиМЕТ, Ресурс-Дизель, «Ремол», в состав которых введены высокодисперсные порошки мягких металлов (Cu, Pb, Sn, Ag, Zn, Au) и их сплавов [4–6; 10–12]. К препаратам, содержащим слоистые гидросиликаты магния (серпентины), относятся РВС, НИОД, АРТ, ТСК-М, СУПРОТЕК, Живой металл, RUTEC Reanimator, МЕГАФОРС, ЭДИАЛ, РВД, ХАДО, ТРИБО, SUPRO, Motor doctor.

В Саратовском аграрном университете разработаны составы приработочных, эксплуатационных и эксплуатационно-восстановительных смазочных композиций «Кластер». Применение приработочных добавок к маслу «Кластер-П» позволило сократить период обкатки, уменьшить начальный износ деталей, снизить часовой расход топлива; повысить противозадирную стойкость деталей, увеличить мощность двигателя [10]. Поверхностные слои, сформированные в процессе стендовой обкатки двигателей, сравнительно быстро изнашиваются в условиях реальной эксплуатации. Поэтому для данных условий были разработаны эксплуатационные смазочные композиции [11].

Эксплуатационные присадки представляют собой суспензию ультра-наноразмерных порошкообразных добавок легированных сплавов цветных металлов в моторном масле с добавлением необходимого количества ПАВ. В отличие от обкаточных составов, эксплуатационные смазочные композиции имеют более легкоплавкие фракции, что позволяет увеличить диапазон нагрузочно-скоростного и температурного режимов действия добавок. В результате проведения комплекса испытаний была разработана гамма эксплуатационных и эксплуатационно-восстановительных добавок к маслу «Кластер» [4–6; 10–12].

В результате взаимодействия ультра-наноразмерного порошка цветного металла с металлом деталей двигателя и частицами износа на поверхности деталей образуется защитный слой с ультрадисперсной структурой, способствующий повышению эксплуатационных показателей и долговечности двигателя.

Общей проблемой смазочных композиций с добавлением ультра-нанодисперсных металлических порошков является их седиментация и агрегация частиц. При увеличении размеров кристаллов металла или сплава до нескольких десятков мкм они начинают задерживаться масляным фильтром, и смазочная композиция не только теряет свою эффективность, но и может привести к забиванию маслопроводящих каналов и схватыванию трущихся поверхностей деталей. Кроме того, масляные фильтры центробежного типа разрушают суспензию за счет инерционных сил.

Наиболее значительна седиментация суспензии в период хранения препарата до эксплуатации и при длительном простое автотехники. Производители реметаллизантов рекомендуют перед непосредственным применением препарата энергично встряхивать флакон в течение 20–30 с, а сразу после взбалтывания влить содержимое флакона

в моторное масло через маслозаливную горловину двигателя и проверить наличие осадка, обнаруживаемого на дне флакона в случае недостаточно энергично взбалтывания. При наличии осадка необходимо налить во флакон небольшое количество свежего моторного масла, снова энергично взболтать содержимое флакона или перемешать и влить суспензию в масло. Заливать препарат рекомендуют непосредственно перед поездкой, либо сразу после заливки запустить двигатель и дать ему поработать на холостом ходу в течение 7–10 мин. с целью равномерного распределения частиц препарата по всему объему масла.

Однако наиболее технически грамотным решением для придания смазочной композиции седиментационной устойчивости является использование химических стабилизаторов, образующих на поверхности частиц металла тончайшую пленку, которая не только препятствует агрегации частиц, но и длительное время удерживает их в суспензии во взвешенном состоянии.

Обзор литературы

Для стабилизации наночастиц серебра в гидрозолях используются низкомолекулярные стабилизаторы (в том числе катионные поверхностно-активные вещества, например, цитрат натрия [13; 14], а также природные или синтетические полимеры, в частности, поли-N-винилпирролидон [15–17]). Наиболее заметное место среди анионных полимеров занимают полимеры монокарбоновых кислот – полиакриловой и полиметакриловой [18–21] – или сополимеры этих кислот [22]. В научной литературе [23; 24] имеются сведения об использовании сополимеров дикарбоновой (малеиновой) кислоты для стабилизации различных наноразмерных материалов.

В качестве стабилизаторов дисперсных металлических порошков в смазочных композициях применяются органические соединения различных классов.

Известна металлоплакирующая смазка, в состав которой с целью повышения противозадирных и противоизносных свойств включены медный порошок и мыльная пластичная смазка. В качестве стабилизатора в данной смазке используется добавка 0,05–0,15 мас. % N-валерилсалициламида [25]. Однако из-за наличия мыльной композиции применение такой смазки для двигателей внутреннего сгорания невозможно.

Известна добавка в моторное масло, включающая минеральное масло, смесь порошков меди и свинца с частицами сферической формы диаметром 1,0–8,2 мкм и 1,0–2,7 мкм соответственно и жировую композицию в качестве стабилизатора [26]. Недостатком этой добавки является то, что при ее введении в моторное масло его окисляемость повышается на 11 %. Это может привести к снижению температурной стабильности граничных смазочных слоев и, как следствие, к повышению расхода масла.

В 1992 году группой авторов из научно-производственной фирмы «ВИРА» получены два патента на смазочные композиции «Ресурс-Дизель» [27] и «Ресурс-Форте» [28]. В качестве стабилизатора порошкообразного металлического наполнителя (никель, сплав никель-медь-фосфор, сплав медь-фосфор) в композиции «Ресурс-Дизель» использовались амиды общей формулы



где $\text{R} = \text{C}_{10}\text{H}_{21} \div \text{C}_{13}\text{H}_{27}$.

В смазочной композиции «Ресурс-Форте» стабилизатором является смесь N-метаноил-N-алканоилэтилендиаминов общей формулы



где $\text{R} = \text{C}_{10}\text{H}_{21} \div \text{C}_{13}\text{H}_{27}$.

Однако оба указанных стабилизатора в настоящее время не выпускаются.

Механизм действия традиционных стабилизаторов металлических

порошков заключается в следующем. Стабилизатор представляет собой соединение, молекула которого содержит как гидрофильный, так и гидрофобный фрагменты. Наиболее распространенными гидрофильными полярными группами являются карбоксильная группа $-\text{COOH}$, гидроксильная группа $-\text{OH}$, аминогруппа $-\text{NH}_2$, а также их функциональные производные, полученные замещением атома водорода в гидрофильной группе. Гидрофобные неполярные группы – это углеводородные радикалы либо жирного ряда (алкильные радикалы от C_{10} и выше), либо ароматической природы.

Засчет полярного фрагмента молекулы стабилизатора происходит химическое связывание с поверхностью наночастицы металла. Неполярная часть молекулы, растворимая в масле, образует своеобразную пленку на поверхности частицы, способствуя образованию дисперсной системы и препятствуя седиментации металла.

При всех достоинствах известных биполярных стабилизаторов, большинство из которых фактически представляет собой аналоги поверхностно-активных веществ, они обладают рядом существенных недостатков.

Во-первых, наличие гидрофильных групп заметно снижает растворимость стабилизатора в масле. Так, этилендиаминтетрауксусная кислота, октадециловый эфир триэтаноламина и другие потенциальные комплексообразователи малорастворимы в моторных маслах, что ограничивает поиск среди подобных соединений высокоэффективных стабилизаторов.

Во-вторых, наличие в молекуле стабилизатора кислотных функциональных групп (в первую очередь, карбоксильной, а также гидроксильной) делает стабилизатор коррозионно-опасной добавкой. Действительно, олеиновая кислота имеет при комнатной температуре незначительную величину константы диссоциации, однако при повы-

шении температуры до 90°C константа диссоциации увеличивается сразу на три порядка. При условии длительного воздействия на детали двигателя не исключена значительная коррозионная активность внесенного компонента.

Для поиска принципиально новых стабилизаторов нами предлагаются следующие два подхода.

Первый заключается в снижении полярности гидрофильного фрагмента молекулы стабилизатора с одновременным снижением константы диссоциации карбоксильной группы путем ее этерификации. Поскольку стабилизатор должен обладать достаточной температурной стабильностью и малой летучестью, предложено использовать для этих целей полимерный сложный эфир двухатомного спирта (этиленгликоля) и двухосновной карбоновой кислоты (адипиновой). При значительной относительной молекулярной массе (порядка 1 500–1 700) вещество обладает гидрофильным углеводородным фрагментом кислоты $(-\text{CH}_2)_6$ и малополярным сложноэфирным фрагментом $-\text{COOCH}_2-$. Отсутствие свободных карбоксильных групп исключает коррозионное действие препарата.

Второй подход заключается в полном исключении из молекулы стабилизатора гидрофильного полярного фрагмента. Такой шаг кардинально решает проблему растворимости стабилизатора в масле и его коррозионной «лояльности». В качестве подобных стабилизаторов предлагается использовать жирноароматические углеводороды. Однако неясно, за счет чего предполагается координация с частицей металла. Координационным центром могут служить ароматические циклы углеводорода, обладающие высокой электронной плотностью на бензольных кольцах.

Материалы и методы

Для экспериментальной проверки теоретических предположений было принято решение синтезировать по

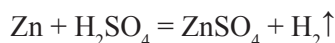
одному представителю обоих типов предлагаемых стабилизаторов, изучить их свойства по отношению к нанодисперсному порошку и в случае получения положительного результата подобрать промышленно выпускаемый аналог с эквивалентными структурой и свойствами.

Методика проведения экспериментальных исследований состоит из следующих этапов:

- синтез образцов стабилизаторов различной химической природы;
- получение смазочных композиций с ультра-нанометаллическим порошковым наполнителем методом ультразвукового диспергирования;
- изучение стабилизационных свойств синтезированных соединений и сравнение полученных результатов с наиболее распространенным поверхностно-активным веществом – олеиновой кислотой.

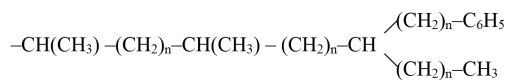
Синтез углеводородного стабилизатора апиезон МН проводили по следующей схеме. Неподвижная жидкая фаза для газо-жидкостной хроматографии апиезон М, выпускаемая фирмой MERCK (Германия), представляет собой смесь жирноароматических углеводородов, содержащих неопределенные этиленовые фрагменты. Непосредственно сам апиезон М непригоден для использования в качестве стабилизатора нанодисперсного порошка, поскольку при повышенных температурах работы двигателя в условиях каталитического действия металла будет происходить полимеризация вещества с последующим смолообразованием. Для предотвращения этого процесса принято решение прогидрировать двойные связи углеводородных цепей в мягких условиях молекулярным водородом в присутствии никелевого катализатора. Методика синтеза описана в научной литературе².

Образец препарата апиезон М (неподвижная жидкая фаза для газо-жидкостной хроматографии) массой 2,5 г растворяют в 50 мл тетрагидрметана и помещают в двугорлую колбу объемом 100 мл, снабженную барботажной трубкой и обратным холодильником. К раствору добавляют 0,5 г катализатора – порошка никеля Ренея. Суспензию нагревают на водяной бане до температуры 60 °С и в течение 2,5 ч через барботажную трубку пропускают из аппарата Киппа водород, получаемый в ходе реакции:



По окончании реакции порошок катализатора отделяют на фильтре Шотта. Полученный раствор переносят в колбу Вюрца и отгоняют растворитель, постепенно нагревая содержимое до 100 °С. Получают 2,5 г вязкой массы коричневого цвета – апиезон МН.

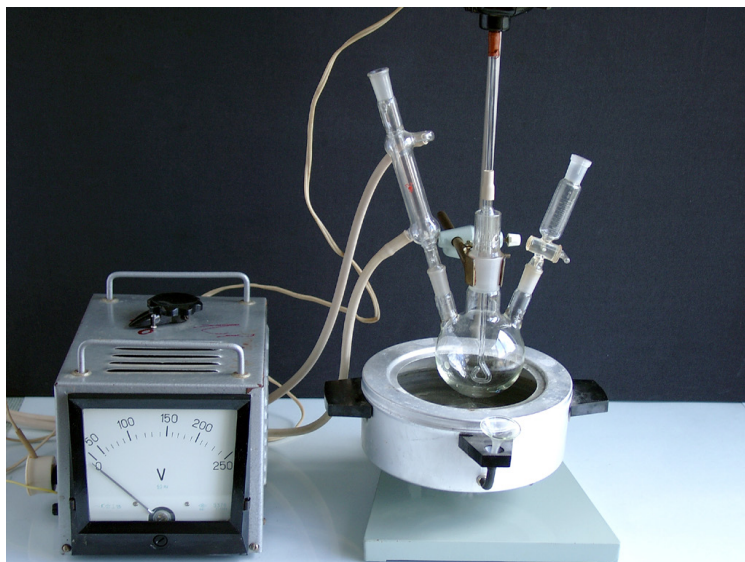
Структура полученного вещества может быть отражена следующей формулой:



Относительная молекулярная масса вещества – 950–1 000.

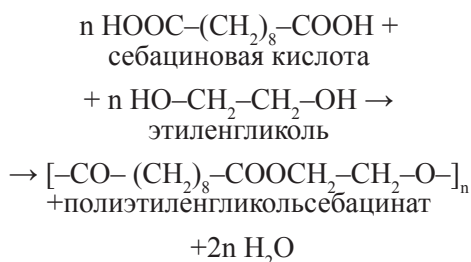
Синтез сложноэфирного стабилизатора полиэтиленгликольсебацината заключался в следующем: в трехгорлую круглодонную колбу объемом 500 мл, снабженную механической мешалкой, обратным холодильником и капельной воронкой (рис. 1), помещали раствор 20,2 г (0,1 моль) себациновой кислоты в 200 мл этанола. Раствор нагревали на водяной бане до температуры 65 °С и в течение 1,5 ч при постоянном перемешивании добавляли по каплям раствор 6,2 г (0,1 моль) этиленгликоля в 100 мл этилового спирта. По окончании смешивания реагентов смесь про-

² Руководство по газовой хроматографии : в 2 ч. / Под ред. Э. Лейбница, Х. Г. Шруппе. М. : Мир, 1988. Ч. 2. 510 с. URL: <http://www.chromatogramma.ru/?q=articles/2010/07/03/rukovodstvo-pogazovoi-khromatografii-pod-red-eleibnitsa-khg-shtruppe.html>



Р и с. 1. Лабораторная установка для получения стабилизатора
F i g. 1. The laboratory installation for stabilizer production

должали перемешивать при температуре 70 °С в течение 2 ч.



Далее реакционную смесь переливали в колбу Вюрца и отгоняли растворитель, постепенно повышая температуру до 100 °С. Образовавшуюся вязкую массу выливали на металлический лист или керамическую плитку и высушивали в течение 72 ч. Затвердевший полимер измельчали механическим способом. Выход полиэтиленгликольсебаионата составил 18,9 г (83 % от теоретического).

Методика изучения стабилизационных свойств синтезированных соединений заключалась в следующем. Навески препаратов определенной массы растворяли в известном объеме ди-

хлорметана. В химический стакан объемом 500 мл помещали 400 мл базового минерального масла М-10Г₂к ГОСТ 8581-78 и определенный объем раствора стабилизатора. Смесь перемешивали с помощью ультразвуковой установки УЗГИ-05 до получения равномерного раствора. К полученному раствору добавляли 40 г порошкообразного металлического наполнителя. Диспергирование ультразвуком проводили в течение 0,5 ч. Получали стабильную во времени суспензию, которую использовали в качестве смазочной композиции для модификации моторного масла двигателей внутреннего сгорания.

Седиментационную устойчивость композиции определяли следующим образом. Смазочную композицию наливали в четыре градуированных пробирки емкостью 15 мл. Через определенные промежутки времени (10 ч) измеряли высоту столба жидкости и высоту слоя суспензии. Седиментационную устойчивость рассчитывали по формуле:

$$X = \frac{h}{H} \cdot 100\%,$$

где X – седиментационная устойчивость (%); h – высота слоя суспензии (мм); H – высота столба жидкости (мм).

По полученным данным строили график в координатах «седиментационная устойчивость (%) – время (ч)». В качестве эталона сравнения использовали добавку олеиновой кислоты в количестве 0,08 массовой части.

Результаты исследования

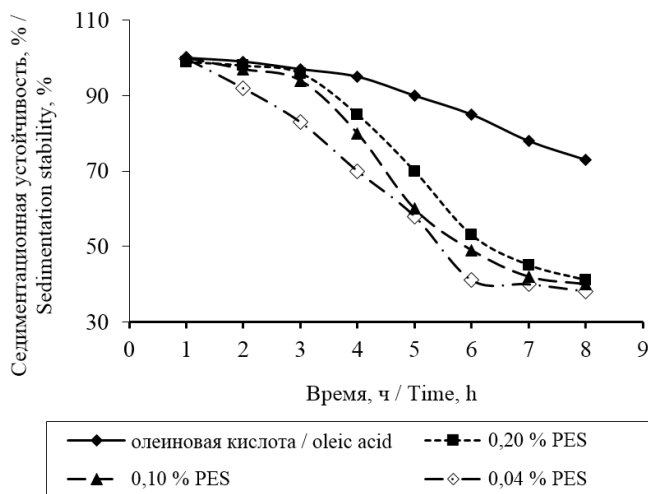
Стабилизационные свойства полиэтиленгликольсебацата изучали в смазочных композициях, содержащих 10 массовых частей масла М-10Г₂к ГОСТ 8581–78, одну массовую часть металлического порошка и стабилизатор в количестве 0,2, 0,1 и 0,04 массовых частей. Седиментационные диаграммы представлены на рис. 2.

Стабилизационные свойства апиезона МН изучали в смазочных композициях, содержащих 10 массовых частей масла, одну массовую часть металлического порошка и стабилизатор в количестве 0,2, 0,1 и 0,04 массовых частей. Седиментационные диаграммы в сравнении с олеиновой кислотой представлены на рис. 3.

Поскольку апиезон МН показал удовлетворительную стабилизационную активность, были изучены свойства товарного аналога синтезированного препарата – апиезон L производства фирмы MERCK (Германия). Эксперимент проводили с использованием смазочных композиций, содержащих 10 массовых частей масла, 1 массовую часть металлического порошка и стабилизатор в количестве 0,2, 0,1 и 0,04 массовых частей. Седиментационные диаграммы представлены на рис. 4.

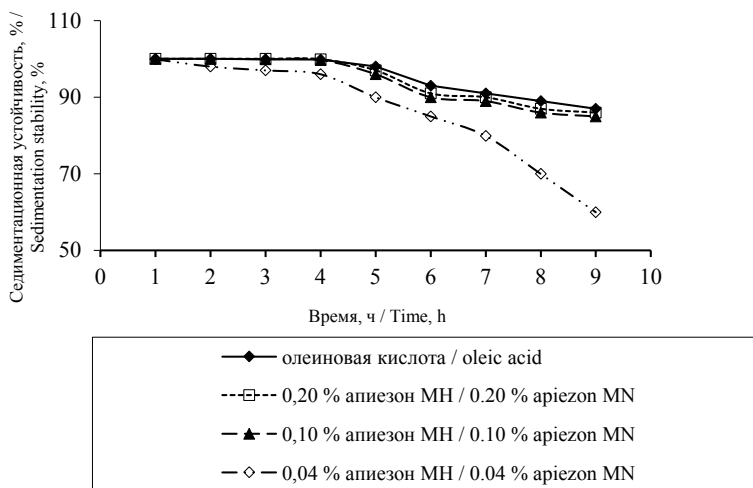
Анализ седиментационных диаграмм позволяет сделать вывод, что полимерный сложный эфир полиэтиленгликольсебацат показал неудовлетворительные свойства. Устойчивость суспензии оказалась значительно ниже, чем в случае использования олеиновой кислоты: уже через 6 ч наблюдалось заметное расслоение.

При использовании в качестве стабилизатора апиезона МН получен положительный результат. Седиментационная устойчивость суспензии оказалась на уровне эталона (олеиновой кислоты).

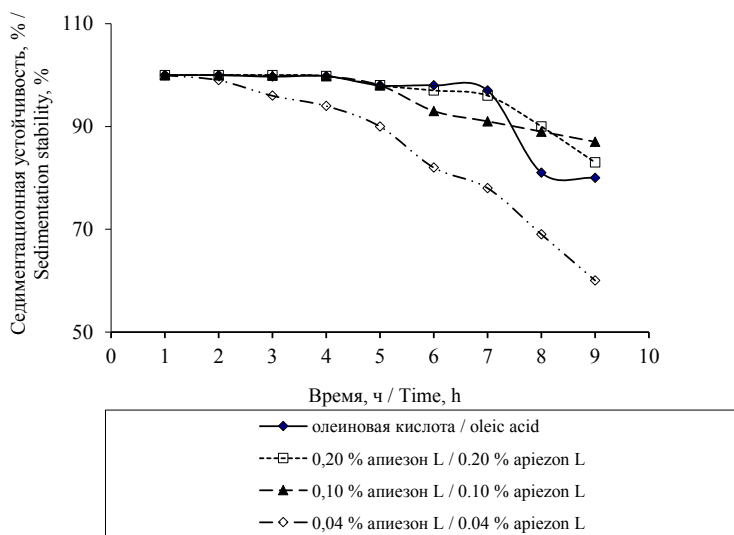


Р и с. 2. Стабилизационные свойства полиэтиленгликольсебацата в сравнении с олеиновой кислотой при разном количестве (мас. %) стабилизатора

F i g. 2. Stabilization properties of polyethylene glycolsebacate in comparison with oleic acid with different amounts (wt. %) stabilizer



Р и с. 3. Стабилизационные свойства апиезона МН в сравнении с олеиновой кислотой при разном количестве (мас. %) стабилизатора
 F i g. 3. Stabilization properties of apiezon MN in comparison with oleic acid with different amounts (wt. %) stabilizer



Р и с. 4. Стабилизационные свойства апиезона L в сравнении с олеиновой кислотой при разном количестве (мас. %) стабилизатора
 F i g. 4. Stabilization properties of apiezon L in comparison with oleic acid with different amounts (wt. %) stabilizer

Начало расслоения смазочной композиции зарегистрировано лишь через 96 ч, что несколько раньше, чем для олеиновой кислоты. Однако дальнейшая скорость седиментации составляла всего 0,5–0,8 % в течение 24 ч, что меньше, чем для стабилизатора сравнения.

Как и следовало ожидать, с увеличением массовой доли стабилизатора седиментационная устойчивость смазочной композиции увеличивалась. Однако верхний предел стабилизатора в композиции принят равным 0,2 массовых частей, поскольку при более

Т а б л и ц а 1
T a b l e 1

Аналоги продукции отечественного производства и продукции Shell
Analogues of domestic production and of Shell products

Shell	Отечественный аналог / Domestic analog
Смазки пластичные / Plastic greases	
Alvania RL 3	1-13
Alvania RL 1	15B / 15V
Mytilus A	АМС-1 / AMS-1
Mytilus B	АМС-3 / AMS-3
Alvania RL 2	БНЗ-3 / BNZ-3
Aviation Grease S 7108	БУ / Petrol-resisting grease
Apiезон AP 101	Вакуумная / Vacuum grease
AeroShell Grease 15A, 22	ВНИИ НП-207 / VNII NP-207

высоком его содержании существенно возрастает вязкость масла.

После получения положительного результата с гидрированным апиезоном далее были изучены стабилизационные свойства его аналога – товарного реактива апиезон L. Такая замена оказалась бы выгодна с точки зрения исключения стадии синтеза, значительно удорожающего стоимость композиции. Апиезон L выпускается фирмой MERCK (Германия) и используется в качестве неподвижной жидкой фазы в газо-жидкостной хроматографии.

По своей химической структуре апиезон L мало отличается от гидрированного апиезона МН и также представляет собой смесь жирноароматических углеводородов. Вещество имеет вид коричневой вязкой массы, хорошо растворяется в моторном масле.

Эксперимент подтвердил высокую эффективность апиезона L в качестве стабилизатора: его свойства мало отличались от свойств апиезона МН.

Анализ информационных источников показал, что апиезоны выпускает английская фирма M&I Materials Ltd Ariezon – производитель и поставщик вакуумных смазочных материалов. Как было выяснено, апиезоновые смазки

применяются в качестве высокоэффективных смазочных материалов в вакуумной технике. Подобные смазки выпускаются фирмой SHELL. В табл. 1 приведены отечественные аналоги продукции этой фирмы, где в качестве замены апиезона AP 101 предлагается обычная отечественная вакуумная смазка.

Обсуждение и заключение

1. Синтезированный препарат апиезон МН и товарный реагент апиезон L проявляют стабилизационные свойства в отношении металлических порошков смазочной композиции, сравнимые со свойствами олеиновой кислоты.

2. Поскольку апиезоновые смазки представляют собой смесь углеводородов, их коррозионная активность значительно ниже, чем у олеиновой кислоты, что указывает на перспективность их применения.

3. Добавка сложного эфира этиленгликоля и предельной дикарбоновой кислоты (этиленгликольсебагината) не оказала стабилизирующего действия на смазочную композицию.

4. В дальнейшем наибольший интерес представляют исследования отечественных аналогов апиезоновых смазок на предмет их стабилизационных свойств.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Исследование физико-химических свойств и триботехнической эффективности наночастиц мягких металлов и их смесей в вазелиновом масле / А. С. Кужаров [и др.] // Наноинженерия. 2013. № 5 (23). С. 43–48.
2. **Бурлакова В. Э., Косогова Ю. П., Дроган Е. Г.** Влияние наноразмерных кластеров меди на триботехнические свойства пары трения сталь-сталь в водных растворах спиртов // Вестник Донского государственного технического университета. 2015. Т. 15, № 2 (81). С. 41–47. DOI: <https://doi.org/10.12737/11590>
3. Способ получения ультрадисперсного порошка и устройство для его осуществления : пат. 2207933 Рос. Федерация : МПК⁷ В 22 F9/12 / Кириллин А. В. [и др.] ; заявитель и патентообладатель Кириллин А. В. № 2001118997/02 ; заявл. 10.07.2001; опубл. 10.07.2003. 6 с. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2207933>
4. **Сафонов В. В., Добринский Э. К.** Повышение ресурса тракторных дизелей за счет металлосодержащих добавок к маслу // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2001. № 4. С. 17–18.
5. **Сафонов В. В., Шишурин С. А., Александров В. А.** Повышение эффективности эксплуатации сельскохозяйственной техники за счет применения наноматериалов // Нанотехника. 2009. № 4 (20). С. 79–80.
6. Применение наноматериалов при техническом сервисе автотракторной техники / В. В. Сафонов [и др.] // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2009. № 3 (34). С. 62–66.
7. Наноматериалы для продления послеремонтного ресурса тракторных трансмиссий и экономии топлива / В. П. Лялякин [и др.] // Технология металлов. 2011. № 1. С. 25–27.
8. Эксплуатационные испытания двигателей ЗМЗ-4062 при добавлении в моторное масло нанопрепарата фирмы «Wagner» Universal – Micro-Ceramic Oil / Р. Ю. Соловьев [и др.] // Труды ГОСНИТИ. 2013. Т. 112, ч. 1. С. 119–127.
9. Исследование трибосоставов на основе гексагонального нитрида бора / Д. А. Гительман [и др.] // Труды ГОСНИТИ. 2014. Т. 115. С. 66–70.
10. Наноматериалы в ресурсосберегающих технологиях обеспечения работоспособности агрегатов сельскохозяйственной техники / В. В. Сафонов [и др.] // Вестник Челябинского государственного агроинженерного университета. 2008. Т. 51. С. 62–69.
11. **Сафонов В. В., Добринский Э. К.** Нанодисперсные металлосодержащие добавки к моторным маслам // Машинно-технологическая станция. 2004. № 1. С. 42–44.
12. Смазочная композиция : пат. 2123030 Рос. Федерация, МПК⁶ C10M 125/00, C10M 125:04, C10M 125:22, C10M 125:24, C10N 30:06 / Сафонов В. В. [и др.] ; заявители и патентообладатели Сафонов В. В. [и др.]. № 97116529/04 ; заявл. 07.10.1997 ; опубл. 10.12.1998, Бюл. № 34. – 5 с.
13. Сравнительное исследование свойств гидрозолей серебра, полученных цитратным и цитрат-сульфатным методами / О. В. Дементьева [и др.] // Коллоидный журнал, 2008. Т. 70, № 5. С. 607–619.
14. Controlling the shapes of silver nanocrystals with different capping agents / J. Zeng [et al.] // Journal of the American Chemical Society. 2010. Vol. 132, Issue 25. P. 8552–8553. DOI: <https://doi.org/10.1021/ja103655f>
15. **Bonet F., Tekaiia-Elhsissen K., Sarethy K. V.** Study of interaction of ethylene glycol/PVP phase on noble metal powders prepared by polyol process // Bulletin of Materials Science. 2000. Vol. 23, Issue 3. P. 165–168. URL: <https://www.ias.ac.in/article/fulltext/boms/023/03/0165-0168>
16. Стабилизация наночастиц серебра с помощью сополимеров малеиновой кислоты / Н. А. Самойлова [и др.] // Коллоидный журнал. 2013. Т. 75, № 4. С. 455–467. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0023291213040083>
17. **Ershov B. G., Henglein A.** Reduction of Ag⁺ on polyacrylate chains in aqueous solution // The Journal of Physical Chemistry B. 1998. Vol. 102, Issue 52. P. 10663–10666. DOI: <https://doi.org/10.1021/jp981906i>

18. Фотохимическое восстановление катионов серебра в полиэлектролитной матрице / М. В. Кирюхин [и др.] // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. 2000. Т. 42, № 6. С. 1069–1073. URL: http://polymsci.ru/static/Archive/2000/VMS_2000_T42_6/VMS_2000_T42_6_1069-1073.pdf
19. Stable silver clusters and nanoparticles prepared in polyacrylate and inverse micellar solutions / Z. Zhang [et al.] // The Journal of Physical Chemistry B. 2000. Vol. 104, Issue 6. P. 1176–1182. DOI: <https://doi.org/10.1021/jp991569t>
20. In situ fabrication of polyacrylate-silver nanocomposite through photoinduced tandem reactions involving eosin dye / L. Balan [et al.] // Polymer. 2010. Vol. 51, Issue 6. P. 1363–1369. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2009.05.003>
21. Процесс борогидридного восстановления Ag^+ в водных растворах сополимера акриловой кислоты и акриламида / В. Д. Буикликий [и др.] // Коллоидный журнал. 2012. Т. 74, № 1. С. 10–14.
22. Potent immunomodulating activities of polyvinyladenine and (vinyladenine-alt-maleic acid) copolymer / M. Akashi [et al.] // Journal of Bioactive and Compatible Polymers. 1989. Vol. 4, Issue 2. P. 124–136. DOI: <https://doi.org/10.1177/088391158900400203>
23. Hydrophobic nanocrystals coated with an amphiphilic polymer shell: a general route to water soluble nanocrystals / T. Pellegrino [et al.] // Nano Letters. 2004. Vol. 4, Issue 4. P. 703–707. DOI: <https://doi.org/10.1021/nl035172j>
24. Design of an amphiphilic polymer for nanoparticle coating and functionalization / C.-A. J. Lin [et al.] // Small. 2008. Vol. 4, Issue 3. P. 334–341. DOI: <https://doi.org/10.1002/sml.200700654>
25. Металлоплакирующая смазка : а. с. 1214735 СССР : МКИ³ С 10 М 133/16 / А. С. Кужаров [и др.] (СССР). № 3731704/23-04 ; заявл. 24.01.84 ; опубл. 28.02.86, Бюл. № 8. 3 с. URL: <http://patents.su/3-1214735-metalloplakiruyushhaya-smazka.html>
26. Lubricant additive : pat. 4204968 US, 252/26, C10M 125/04; (IPC1-7): C10M 1/54; C10M 3/48 / Mack J. E., Mack P. K., inventors. CLM International Corp. (Englewood, CO), assignee. Filing 11.08.1978 ; publ. 27.05.1980. URL: <http://www.freepatentsonline.com/4204968.html>
27. Смазочная композиция «РЕСУРС-ДИЗЕЛЬ» : пат. 2019563 Рос. Федерация : МПК⁶ C10M 169/04, C10M 101/02, C10M 125/04, C10M 125/24, C10M 133/16, C10N 30/06 / Войтович Я. Н. [и др.] ; заявитель и патентообладатель Научно-производственная фирма «ВИРА». № 5034800/04 ; заявл. 31.03.1992 ; опубл. 15.09.1994, Бюл. № 14. 5 с. URL: <http://ru-patent.info/20/15-19/2019563.html>
28. Смазочная композиция «РЕСУРС-ФОРТЕ» : пат. 2019562 Рос. Федерация, МПК⁶ C10M 169/04, C10M 101/02, C10M 125/04, C10M 133/16, C10N 30/06 / Войтович Я. Н. [и др.] ; заявитель и патентообладатель Научно-производственная фирма «ВИРА». № 5034799/04 ; заявл. 31.03.1992 ; опубл. 15.09.1994, Бюл. № 14. 4 с. URL: <http://www.findpatent.ru/patent/201/2019562.html>

Поступила 26.10.2018; принята к публикации 14.12.2018; опубликована онлайн 29.03.2019

Об авторах:

Сафонов Валентин Владимирович, профессор, кафедра технического обеспечения АПК, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова» (410012, Россия, г. Саратов, Театральная пл., 1), доктор технических наук, ResearcherID: W-1167-2017, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6752-3242>, safonow2010sgau@yandex.ru

Остриков Валерий Васильевич, заведующий, лаборатория использования смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов, ФГБНУ ВНИИТиН (392022, Россия, г. Тамбов, Ново-Рубежный пер., 28), доктор технических наук, профессор, ResearcherID: U-9688-2017, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2927-768X>, viitinlab8@bk.ru

Венский Вадим Викторович, доцент, кафедра технического обеспечения АПК, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова» (410012, Россия, г. Саратов, Театральная пл., 1), кандидат технических наук, ResearcherID: A-5810-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0919-0579>, mec-2007@mail.ru

Сафонов Константин Валентинович, старший преподаватель, кафедры технического обеспечения АПК, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова» (410012, Россия, г. Саратов, Театральная пл., 1), ResearcherID: B-3252-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0813-2123>, professor-86@mail.ru

Азаров Александр Сергеевич, доцент, кафедры технического обеспечения АПК, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова» (410012, Россия, г. Саратов, Театральная пл., 1), кандидат технических наук, ResearcherID: A-4979-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1750-5553>, azarov444@yandex.ru

Заявленный вклад соавторов:

В. В. Сафонов – формулирование основной концепции исследования, разработка плана статьи, подготовка начального варианта статьи; В. В. Остриков – постановка задач и разработка методики исследования, формирование выводов; В. В. Венский – анализ литературных источников и результатов исследования, доработка текста статьи; К. В. Сафонов – получение смазочных композиций с ультра-нанометаллическим порошковым наполнителем, изучение стабилизационных свойств синтезированных соединений; А. С. Азаров – синтез образцов стабилизаторов различной химической природы.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Kuzharov A.S., Kuzharov A.A., Nguyen H., Ageev O.A., Konoplev B.G., Ryzhkin A.A. et al. Investigation of the physicochemical properties and tribological efficiency of nanoparticles of soft metals and their mixtures in petroleum jelly oil. *Nanoinzheneriya = Nanoengineering*. 2013; 5:43-48. (In Russ.)
2. Burlakova V.E., Kosogova Y.P., Drogan E.G. Effect of copper nanoclusters on the tribological properties of steel-steel friction pair in alcohol aqueous solutions. *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Vestnik of Don State Technical University*. 2015; 15(2):41-47. DOI: <https://doi.org/10.12737/11590> (In Russ.)
3. Kirillin A.V., Dobrinsky E.K., Krasnyukov E.A., Malashin S.I., inventors. Kirillin A.V., assignee. The method of obtaining ultrafine powder and device for its implementation. RU Patent 2207933. 2001 Jul 10. Available at: <http://www.freepatent.ru/patents/2207933> (In Russ.)
4. Safonov V.V., Dobrinsky E.K. Increasing the resource of tractor diesels due to metal-containing additives to oil. *Traktory i selskokhozyaystvennyye mashiny = Tractors and Agricultural Machinery*. 2001; 4:17-18. (In Russ.)
5. Safonov V.V., Shishurin S.A., Aleksandrov V.A. Improving the efficiency of operation of agricultural machinery through the use of nanomaterials. *Nanotekhnika = Nanotechnology*. 2009; 4:79-80. (In Russ.)
6. Safonov V.V., Aleksandrov V.A., Azarov A.S., Shishurin S.A. Application of nanomaterials during technical service of automotive vehicles. *Vestnik MGAU = MSAU Bulletin*. 2009; 3:62-66. (In Russ.)
7. Lyalyakin V.P., Olkhovatsky A.K., Gitelman D.A., Shavkunov A.P. Nanomaterials for extending the post-repair resource of tractor transmissions and fuel economy. *Tekhnologiya metallov = Metal Technology*. 2011; 1:25-27. (In Russ.)
8. Soloviev R.Yu., Olkhovatsky A.K., Gritsenko A.V., Kukov S.S., Bakaykin D.D., Gitelman D.A. Operational testing of ZMZ-4062 engines when adding Wagner Universal nanopreparation to motor oil – Micro-Ceramic Oil. *Trudy GOSNITI = Proceedings of GOSNITI*. 2013; 112(1):119-127. (In Russ.)
9. Gitelman D.A., Dunaev A.V., Kolokolnikov V.N., Podzharaya K.S., Solov'ev Yu.R. Investigation of tribosomes based on hexagonal boron. *Trudy GOSNITI = Proceedings of GOSNITI*. 2014; 115:66-70. (In Russ.)

10. Safonov V.V., Aleksandrov V.A., Azarov A.S., Shishurin S.A., Safonov K.V. Nanomaterials in resource-saving technologies to ensure the operability of agricultural machines. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo agroinzhenernogo universiteta* = Chelyabinsk State Agroengineering University Bulletin. 2008; 51:62-69. (In Russ.)
11. Safonov V.V., Dobrinsky E.K. Lubricating composition with components of nanostructured materials. *Mashinno-tehnologicheskaya stantsiya* = Machine Technological Station. 2004; 1:42-44. (In Russ.)
12. Safonov V.V., Dobrinsky E.K., Buylov V.N., Semin A.G., Mityushkin A.A., Venskaytis V.V., inventors and assignee. Lubricating composition. RU Patent 2123030. 1998 Dec 10. (In Russ.)
13. Dementieva O.V., Malkovsky A.V., Filippenko M.A., Rudoy V.M. Comparative study of the properties of silver hydrosols obtained by citrate and citrate-sulphate methods. *Kolloidnyy zhurnal* = Colloid Journal. 2008; 70(5):607-619 (In Russ.)
14. Zeng J., Zheng Y., Rycenga M., Tao J., Li Z.-Y., Zhang Q. et al. Controlling the shapes of silver nanocrystals with different capping agents. *Journal of the American Chemical Society*. 2010; 132(25):8552-8553. DOI: <https://doi.org/10.1021/ja103655f>
15. Bonet F, Tekaiia-Elhissien K., Sarethy K.V. Study of interaction of ethylene glycol/PVP phase on noble metal powders prepared by polyol process. *Bulletin of Materials Science*. 2000; 23(3):165-168. Available at: <https://www.ias.ac.in/article/fulltext/boms/023/03/0165-0168>
16. Samoilova N.A., Blagodatskikh I.V., Kurskaya E.A., Krayukhina M.A., Vyshivannaya O.V., Abramchuk S.S. et al. Stabilization of silver nanoparticles using maleic acid copolymers. *Kolloidnyy zhurnal* = Colloid Journal. 2013; 75(4):455-467. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0023291213040083> (In Russ.)
17. Ershov B.G., Henglein A. Reduction of Ag⁺ on polyacrylate chains in aqueous solution. *The Journal of Physical Chemistry B*. 1998; 102(52):10663-10666. DOI: <https://doi.org/10.1021/jp981906i>
18. Kiryukhin M.V., Sergeev B.M., Prusov A.N., Sergeev V.G. Photochemical reduction of silver cations in a polyelectrolyte matrix. *Vysokomolekulyarnyye soyedineniya. Seriya B.* = High Molecular Compounds. Series B. 2000; 42(6):1069-1073. Available at: http://polymsci.ru/static/Archive/2000/VMS_2000_T42_6/VMS_2000_T42_6_1069-1073.pdf (In Russ.)
19. Zhang Z., Patel R.C., Kothari R., Johnson C.P., Friberg S.E., Aikens P.A. Stable silver clusters and nanoparticles prepared in polyacrylate and inverse micellar solutions. *The Journal of Physical Chemistry B*. 2000; 104(6):1176-1182. DOI: <https://doi.org/10.1021/jp991569t>
20. Balan L., Malval J.-P., Schneider R., Nouen D.L., Lougnot D.-J. In-situ fabrication of polyacrylate-silver nanocomposite through photoinduced tandem reactions involving eosin dye. *Polymer*. 2010; 51(6):1363-1369. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2009.05.003>
21. Buiklisky V.D., Levchenko V.F., Popov F.A., Sheremet M.Yu. Ag⁺ borohydride reduction process in aqueous solutions of acrylic acid copolymer and acrylamide. *Kolloidnyy zhurnal* = Colloid Journal. 2012; 74(1):10-14. (In Russ.)
22. Akashi M., Iwasaki H., Miyauchi N., Sato T., Susamoto J., Takemoto K. Potent immunomodulating activities of polyvinyladenine and (vinyladenine-alt-maleic acid) copolymer. *Journal of Bioactive and Compatible Polymers*. 1989; 4(2):124-136. DOI: <https://doi.org/10.1177/088391158900400203>
23. Pellegrino T., Manna L., Kudera S., Liedl T., Koktysh D., Rogach A.L. et al. Hydrophobic nanocrystals coated with an amphiphilic polymer Shell: A general route to water soluble nanocrystals. *Nano Letters*. 2004; 4(4):703-707. DOI: <https://doi.org/10.1021/nl035172j>
24. Lin C.-A.J., Sperling R.A., Li J.K., Yang T.-Y., Li P.-Y., Zanella M. et al. Design of an amphiphilic polymer for nanoparticle coating and functionalization. *Small*. 2008; 4(3):334-341. DOI: <https://doi.org/10.1002/smll.200700654>
25. Kuzharov A.S., Onischuk N.Yu., Komarchuk L.A., Ryabukhin Yu.I. Metal-plating grease. USSR Certificate of Authorship 1214735. 1986 Feb 28. Available at: <http://patents.su/3-1214735-metalloplakiruyushhaya-smazka.html> (In Russ.)
26. Mack J.E., Mack P.K., inventors. CLM International Corp., assignee. Lubricant additive. US Patent 4204968. 1980 May 27. Available at: <http://www.freepatentsonline.com/4204968.html>

27. Voytovich Ya.N., Bregman M.M., Vipper A.B., Dobrinskiy E.K., Karaulov A.K., Kachalkova M.I. et al., inventors. Scientific Production Company “VIRA”, assignee. Lubricating composition “RESOURCE-DIESEL”. RU Patent 2019563. 1994 Sept 15. Available at: <http://ru-patent.info/20/15-19/2019563.html> (In Russ.)

28. Voitovich Ya.N., Bregman M.M., Vipper A.B., Dobrinsky E.K., Karaulov A.K., inventors. Scientific Production Company “VIRA”, assignee. Lubricating composition “RESOURCE-FORTE” RU 2019562 1994 Sept 15. Available at: <http://www.findpatent.ru/patent/201/2019562.html> (In Russ.)

Received 26.10.2018; revised 14.12.2018; published online 29.03.2019

About authors:

Valentin V. Safonov, Professor, Chair of Technical Support of the Agro-Industrial Complex, Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov (1 Teatralnaya Sq., Saratov 410012, Russia), D.Sc. (Engineering), ResearcherID: W-1167-2017, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6752-3242>, safonow2010sgau@yandex.ru

Valery V. Ostrikov, Head, Laboratory for the Use of Lubricants and Waste Oil Products, All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture (28 Novo-Rubezhny Lane, Tambov 392022, Russia), D.Sc. (Engineering), Professor, ResearcherID: U-9688-2017, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2927-768X>, viitinlab8@bk.ru

Vadim V. Venskaytis, Associate Professor, Chair of Technical Support of the Agro-Industrial Complex, Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov (1 Teatralnaya Sq., Saratov 410012, Russia), Ph.D. (Engineering), ResearcherID: A-5810-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0919-0579>, mech-2007@mail.ru

Konstantin V. Safonov, Senior Lecturer, Chair of Technical Support of the Agro-Industrial Complex, Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov (1 Teatralnaya Sq., Saratov 410012, Russia), ResearcherID: B-3252-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0813-2123>, professor-86@mail.ru

Alexandr S. Azarov, Associate Professor, Chair of Technical Support of the Agro-Industrial Complex, Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov (1 Teatralnaya Sq., Saratov 410012, Russia), Ph.D. (Engineering), ResearcherID: A-4979-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1750-5553>, azarov444@yandex.ru

Contribution of the authors:

V. V. Safonov – formulation of the main concept of a research, development of the plan of article, preparation of initial version of article; V. V. Ostrikov – statement of tasks and development of a technique of a research, formation of conclusions; V. V. Venskaytis – the analysis of references and results of a research, completion of the text of article; K. V. Safonov – receiving lubricant compositions with ultra-nanometal powder filler, studying of stabilization properties of the synthesized connections; A. S. Azarov – synthesis of samples of stabilizers of various chemical nature.

All authors have read and approved the final version of the paper.