УДК 621.892.8

DOI: 10.35887/2305-2538-2019-6-67-75

## ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКА НА СЕДИМЕНТАЦИОННУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ НАНОДИСПЕРСНОГО ПОРОШКА В СМАЗОЧНОЙ СРЕДЕ

<sup>1</sup>Сафонов Валентин Владимирович
<sup>1</sup>Уткин Виктор Владимирович
<sup>1</sup>Сафонов Константин Валентинович
<sup>1</sup>Мухин Виктор Алексеевич
<sup>2</sup>Добринский Эдуард Константинович
<sup>3</sup>Остриков Валерий Васильевич

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова» <sup>2</sup>ГНЦ РФ АО «Государственный Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт химии и элементоорганических соединений» <sup>3</sup>ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. При безразборном методе ремонта агрегатов и трущихся деталей машин специальные смазочные композиции, модифицированные наноразмерными порошкообразными материалами. Изучали влияние диспергирующе-стабилизирующей добавки в поверхностно-активных вешеств (ПАВ) на стабилизационную устойчивость наноразмерного порошка в моторном масле и режима ультразвуковой обработки полученной суспензии для повышения седиментационной устойчивости таких композиций. Использовали состав смазочной композиции «Кластер» разработанный на кафедре «Техническое обеспечение АПК» Саратовского ГАУ, представляющий собой суспензию из масла МС-20, смеси наноразмерных порошков иветных металлов и олеиновой кислоты (ПАВ). Приготовление смазочной композиции производили в специальной установке при температуре  $140~^{0}\mathrm{C}$  и механическом перемешиванием в течении 15 минут. В смазочной композиции использовали нанодисперсный порошок полученный методом плазменной переконденсации. Для исследования влияния ультразвука на седиментационную устойчивость полученной смазочной композиции применяли ультразвуковую ванну ОЗУ-025. Полученные экспериментальные результаты показали, что обработка ультразвуком при различных режимах ухудшает седиментационную устойчивость присадки «Кластер». Седиментационную устойчивость определяли через 1–3 суток. С увеличением продолжительности обработки от 5 до 30 минут ускоряется процесс осаждения дисперсной фазы суспензии. Рекомендовали при приготовлении смазочных композиций на основе наноразмерных частиц ограничиться их механическим перемешиванием при определенной температуре и концентрации ПАВ.

**Ключевые слова:** долговечность, безразборный сервис, наноразмерный порошок, ульразвуковая обработка, седиментационная устойчивость, поверхностно-активные вещества, присадка, суспензия.

# INFLUENCE OF ULTRASOUND ON THE SEDIMENTATION STABILITY OF A NANODISPERSED POWDER IN LUBRICANT MEDIUM

<sup>1</sup>Safonov Valentin
<sup>1</sup>Utkin Victor
<sup>1</sup>Safonov Konstantin
<sup>1</sup>Mukhin Victor
<sup>2</sup>Dobrinsky Eduard
<sup>3</sup>Ostrikov Valery

<sup>1</sup>FSBEI HE "Saratov State Vavilov Agrarian University"

<sup>2</sup> "State Scientific Research Institute of Chemistry and Technology of Organoelement Compounds"

<sup>3</sup>FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

Abstract. Special lubricant compositions modified with nanosized powder materials are used in the non-disassembling method of repairing aggregates and rubbing machine parts. The effect of dispersingstabilizing additives in the form of surface-active substances (surfactants) on the stabilization stability of nanosized powder in motor oil and the ultrasonic treatment regime of the resulting suspension to study the sedimentation stability of such compositions was studied. The composition of the lubricant composition "Cluster", developed at the Department of "Technical Support of the Agro-Industrial Complex" of the Saratov State Agrarian University, which is a suspension of MC-20 oil, a mixture of nanosized powders of non-ferrous metals and oleic acid (SAS) was used. The preparation of the lubricating composition was carried out in a special installation at a temperature of 140 ° C and mechanical stirring for 15 minutes. Nanodispersed powder obtained by plasma recondensation was used in a lubricating composition. The ultrasonic bath OZU-025 was used to study the effect of ultrasound on the sedimentation stability of the resulting lubricant composition. The obtained experimental results showed that sonication under various conditions worsens the sedimentation stability of the Cluster additive. Sedimentation stability was determined after 1 to 3 days. The process of precipitation of the dispersed phase of the suspension is accelerated with an increase in the processing time from 5 to 30 minutes. When preparing lubricant compositions based on nanosized particles, it was recommended to limit themselves to their mechanical stirring at a certain temperature and surfactant concentration

**Keywords:** durability, CIP, nano-sized powder, ultrasonic treatment, sedimentation stability, surfactants, additive, suspension.

Стремительное развитие науки и техники, рост нагрузок и скоростей при эксплуатации автомобильного транспорта и сельскохозяйственных машин потребовали повышения качества используемых смазочных материалов и технологий повышение долговечности трущихся деталей в процессе эксплуатации.

В настоящее время интенсивно развивается научное направление, основанное на проведении технического сервиса агрегатов машин безразборным методом [1, 2, 3]. Данное направление основано на применение новейших достижений нанотехнологии. В частности технологий получения и использования наноразмерных порошкообразных материалов. Безразборный сервис – комплекс технических и технологических мероприятий, направленных на проведение операций технического обслуживания и ремонта узлов и механизмов без проведения разборочно-сборочных операций [4].

Одним из направлений использования наноматериалов является создание смазочных композиций на основе наноразмерных порошков цветных металлов и сплавов, позволяющих улучшать трибологические свойства базовых масел [5, 6]. Однако при разработке таких композиций остается актуальным вопрос обеспечения их седиментационной устойчивости, в особенности при использовании в качестве дисперсной среды моторных масел. Ввиду того, что наночастицы обладают высокой поверхностной энергией, то в наносистеме «порошок – масло» самопроизвольно могут протекать процессы коагуляции (укрупнения), сопровождающиеся уменьшением свободной поверхностной энергии в результате частичного взаимного насыщения некомпенсированных молекулярных сил на поверхности частиц. Данный процесс в итоге может привести к объединению наночастиц в крупные конгломераты, которые могут задерживаться фильтрующими агрегатами или выпасть в осадок. Для предотвращения этих процессов необходимо введение в масло дополнительных стабилизаторов улучшающих диспергирующестабилизирующие свойства.

Диспергирование — тонкое измельчение твердых тел в окружающей среде, приводящее к образованию дисперсных систем. Образовавшиеся при диспергировании частицы могут агрегатировать, диссоциировать, менять свое состояние во времени.

Диспергирование осуществляется различными методами [7].

B качестве диспергирующе-стабилизирующей добавки в масле в основном используют поверхностно-активные вещества (ПАВ).

Диспергирующая функция добавки в виде ПАВ проявляется во взаимодействии с нерастворимыми в масле твердыми порошкообразными частицами. Суть этого взаимодействия заключается в способности ПАВ сорбироваться на поверхности раздела двух фаз, резко снижая поверхностное натяжение на границе «поверхность масла - твёрдая поверхность» и таким образом

расщеплять, находящийся в масле порошок. Кроме того, ПАВ значительно легче проникает в зазоры между частицами агломерата и способствует их разрушению. Так же ПАВ облегчает смачивание поверхности порошка базовым маслом.

ПАВ на поверхностях раздела двух фаз сорбируется и таким образом упаковывает каждую частицу в индивидуальную оболочку, состоящую из молекул этого ПАВ.

Повысить эффективность диспергирования можно использованием ультразвука. Происходящие при воздействии ультразвука процессы могут существенно стабилизировать дисперсную систему [8].

Применение ультразвука приводит к интенсификации физико-химических процессов в жидкостях. В ультразвуковом поле возникает кавитация, акустические течения и другие эффекты, способствующие быстрому перемешиванию жидкостей и соприкасающихся с ними твердых частиц. При ультразвуковом диспергировании суспензий дисперсность продукта может увеличиваться в несколько раз по сравнению с традиционным механическим перемешиванием [9].

Механизм действия ультразвука на дисперсную фазу заключается в следующим [10]. При воздействии ультразвука на границе раздела фаз возникают зоны сжатия и разряжения, которые, в свою очередь, создают высокое давление. Создаваемое ультразвуковой волной избыточное давление накладывается на постоянное гидростатическое давление в системе и суммарно может составить несколько атмосфер. В фазе разряжения во всем объеме жидкости, в особенности у границ раздела жидкой фазы и порошка, образуются пузырьки газа (кавитационные пузырьки), которые при повторном сжатии захлопываются, создавая давление до нескольких сотен атмосфер. При этом образуется ударная волна высокой интенсивности, способствующая разрушению образованных конгломератов и крупных частиц.

Для исследования влияния (ПАВ) на стабилизационную устойчивость наноразмерного порошка в моторном масле и режима ультразвуковой обработки полученной суспензии использовали состав смазочной композиции «Кластер» разработанный на кафедре «Техническое обеспечение АПК» Саратовского ГАУ. Присадка «Кластер» представляет собой суспензию, состоящую из масла МС-20 ГОСТ 21743 - 76, смеси наноразмерных порошков цветных металлов и ПАВ [11].

Наноразмерные порошки получали методом плазменной переконденсации, основанном на испарении крупнодисперсного сырья в плазменном потоке с температурой 5000−8000 К и конденсации пара до частиц размером 0,01- 0,2 мкм. Данным способом в условиях ОП ЛАБОРАТОРИИ №33 ФГУП «ГНИИХТЭОС» из крупнодисперсного сырья были синтезированы требуемые наноразмерные порошки (НРП) на установке, представленной на рисунке 1.





Рисунок 1 — Установка для получения наноразмерных порошков методом плазменной переконденсации

Основные характеристики некоторых НРП порошков полученных методом плазменной переконденсации представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические свойства нанодисперсных порошков полученных методом

плазменной перконденсации

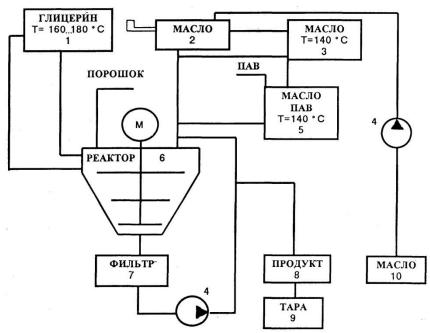
плазменной перконденсации									
Материал	Средний размер частиц, мкм	Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	Цвет	Химическая активность					
Cu	0,01-0,1	0,5-0,1	темно-коричневый	химически активен					
Ni	0,01-0,1	0,4-0,6	черный	химически активен					
Fe	0,01-0,1	0,2-0,6	черный	химически активен					
Al	0,05-0,2	0,3-0,5	серый	химически активен					
Ti	0,04-0,1	0,1-0,2	черный	химически активен					
Zn	0,08-0,1	0,2-0,4	серый	химически активен					
$Al_2O_3$	0,02-0,08	0,2-0,5	белый	стабилен					
AlN	0,07-0,1	0,15-0,2	светло-серый	на воздухе разлагается					
SiC	0,02-0,04	0,3-0,4	светло-серый	стабилен					
Cu·Ni	0,04-0,1	0,4-0,9	темно-серый	химически активен					
Cu·Sn	0,04-0,1	0,4-0,9	темно-коричневый	химически активен					
$MoS_2$	0,05-0,15	0,4-0,8	темно-серый	стабилен					
$CuS_2$	0,05-0,2	0,2-0,6	темно-коричневый	стабилен					

Примечания:

- 1. Средний размер регулируется технологическими параметрами процесса.
- 2. Форма частиц сферическая.
- 3. В таблице не приведены более сложные сплавы, а также порошки легированные различными элементами.

В качестве ПАВ применяли техническую олеиновую кислоту Б-14 ГОСТ 7580 – 91.

Для приготовления концентрированной смазочной композиции на основе нанопорошка использовали специальную установку. Ее схема и внешний вид представлены на рисунки 2, 3.



1 – емкость с глицерином; 2 – мерная емкость с маслом; 3 – емкость с маслом; 4 – насос; 5 – емкость с ПАВ; 6 – реактор; 7 – фильтр; 8 - емкость для присадки; 9 – тара; 10 – емкость для масла.

Рисунок 2 – Схема установки для приготовления присадки



Рисунок 3 – Установка для приготовления присадки

Технология приготовления смазочной композиции заключалась в следующем: из емкости 10 с помощью электронасоса 4 масло МС-20 поступало в мерную емкость 2 с ценой деления 0,5 л. Из нее масло переливали в емкость 5 и нагревали до температуры 140 °C.

Далее включали термостатированную емкость 1, заполненную глицерином, циркулирующим по рубашке реактора 6. Температуру содержимого реактора доводили до 140°C.

На аналитических весах HR − 250 AZG взвешивали необходимое количество ПАВ и добавляли ее в емкость 5, где при температуре 140 °C смесь перемешивали в течение 30 мин. На технических весах типа ВНЦ с ценой деления 5 г взвешивали необходимое количество порошкообразного наполнителя, перемешивали его в определенной пропорции с маслом и заливали в реактор 6. Далее включали перемешивающее устройство реактора и его циркуляционную систему. Содержимое реактора перемешивали в течение 15 мин при температуре 140 °C. После этого в реактор 6 из емкости 5 заливали необходимое количество смеси масла с ПАВ. Полученную многокомпонентную смесь перемешивали в течение 30 мин при температуре 140 °C. Готовую суспензию из реактора 6 в горячем виде с помощью насоса 4 перекачивали в емкость 8, где она остужалась до температуры 40 - 60 °C, после чего ее сливали в подготовленную тару.

При длительном хранении полученная суспензия постепенно расслаивалась, и порошкообразная ее часть выпадала в осадок. Для повышения седиментационной устойчивости приготовленной присадки предлагается использовать ультразвуковую обработку.

Исследование влияния ультразвуковой обработки на седиментационную устойчивость, приготовленную по вышеуказанной технологии присадки «Кластер» проводили следующим образом.

Необходимый для исследования объем присадки заливали в мерный стакан и разливали в 4 пробирки высотой 150 - 155 мм внутренним диаметром  $14^{+}-0.2$  мм. Первые 3 пробирки помещали в ультразвуковую ванну O3V-025 (рисунок 4). Включали ультразвуковую ванну и выдерживали

первую пробирку - 30 мин, вторую - 15 мин, третью - 5 мин. 4-ю пробирку ультразвуком не обрабатывали. После чего все 4 пробирки устанавливали в штатив III - 40 и помещали в термостат жидкостный TЖ-TC-01 залитый водой, подогретой до  $90^{+-}1~^{0}C$ . Эксперимент проводили в 3 этапа. При 1-ом этапе пробирки с присадкой, обработанными и не обработанными ультразвуком, выдерживали в течение 60 мин в термостате и затем его выключали на 24 ч (рисунок 5). После чего пробирки доставали из термостата и замеряли высоту столба суспензии. Далее эксперимент продлевали до 48 ч (2-ой этап) и до 72 ч (3 – этап). Эксперимент повторяли 3 раза.



Рисунок 4 – Ультразвуковая ванна ОЗУ-025 с образцами присадки



Рисунок 5 – Образцы присадки после обработки ультразвуком и выдержки в термостате

Влияние обработки присадки ультразвуком определяли по величине седиментационной устойчивости определяемой по формуле:

 $X = A/B \cdot 100\%$ ;

где Х – седиментационная устойчивость, %;

А – высота столба суспензии, мм;

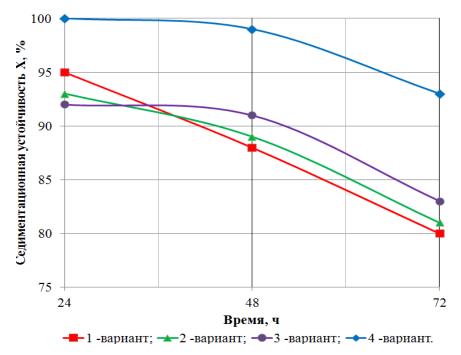
В – общая высота столба, мм.

Результаты исследований представлены в таблице 2 и на рисунок 7.

Таблица 2 - Результаты испытания присадки «Кластер» на седиметационную устойчивость

после обработки ультразвуком

после обработки ультразьуком									
№	Марка масла	Продолжительность	Седиментационная						
пробирки		обработки ультразвуком,	устойчивость, %						
		мин.	24 ч	48 ч	72 ч				
1	MC - 20	30	92	91	83				
2	MC - 20	15	93	89	81				
3	MC - 20	5	95	88	80				
4	MC - 20	-	100	99	93				



1 вариант – 30 минут; 2 вариант – 15 минут; 3 вариант – 5 минут; 4 вариант – не обработанной ультразвуком

Рисунок 6 – Изменение седиментационной устойчивости присадки «Кластер», обработанной ультразвуком

Анализ кривых представленных на рисунке 6 показывает, что обработка ультразвуком устойчивость присадки «Кластер». седиментационную C vвеличением продолжительности обработки ускоряется процесс осаждения дисперсной фазы суспензии. При обработки ультразвуком в течение 30 минут седиментационная устойчивость присадки в интервале с 24 ч до 72 ч уменьшилась с 95 % до 80 %, а при обработки ультразвуком присадки в течение 5 минут седиментационная устойчивость изменилась с 92 % до 83 %. При первом варианте интенсивность снижения седиментационной устойчивости присадки в 1,7 выше, чем при втором. При варианте не обработки присадки «Кластер» ультразвуком (4 – вариант), седиментационная устойчивость изменилась с 100 % до 93 %. Интенсивность снижения седиментационной устойчивости присадки, не обработанной ультразвуком в 2,3 ниже, чем при 30 минутной обработки и в 1,4 ниже, чем при 5-ти минутной обработки. Кроме того, после 72 ч наблюдения за присадкой «Кластер» установлено, что после 30-ти минутной обработки ультразвуком седиментационная устойчивость ее составила 80 %, после 5-ти минутной – 83%, а не обработанная ультразвуком – 93%, что в 1,16 раза и в 1,12 раза выше, чем при первом и втором вариантах соответственно.

Полученные результаты можно объяснить, процессами, происходящими на границе разделе фаз «твердая поверхность порошка – пленка ПАВ». По-видимому, под действием ультразвуковых волн возникают кавитационные явления, разрушающие оболочку вокруг каждой наночастицы образованную предыдущей обработкой ПАВ, что и итоге приводит к повышению физико-химической активности наноразмерного порошка их агрегатированию и ускорению процессов выпадения в осадок.

Исходя из вышеизложенного можно сказать, что при изготовление присадки на основе наноразмерных частиц целесообразно ограничиться их механическим перемешиванием при определенной температуре и концентрации ПАВ.

## Список литературы

- 1. Остриков В.В., Попов С.Ю., Сафонов В.В., Балабанов В.И. Многофункциональная ремонтно-восстановительная смазочная композиция // Наука в центральной России. 2015. № 4 (16). С. 49-56.
- 2. Сафонов В.В., Шишурин С.А., Александров В.А. Повышение эффективности эксплуатации сельскохозяйственной техники за счет применения наноматериалов. // Нанотехника. 2009. № 20. С. 79–80.
- 3. Сафонов В.В., Александров В.А., Азаров А.С., Шишурин С.А. Применение наноматериалов при техническом сервисе // Вестник МГАУ. 2009. № 3.(34) С. 62–66.
- 4. Балабанов В.И., Болгов В.Ю. Автомобильные присадки и добавки: Монография / В.И. Балабанов, В.Ю. Болгов. М.: Изд-во РГАУ МСХА имени К.А. Тимирязева, 2011. 225 с.
- 5. Зимин А.Г., Попов С.Ю., Остриков В.В., Сафонов В.В. Повышение эффективности и расширение многофункциональных свойств ремонтно-восстановительного состава // Тракторы и сельхозмашины. -2014. -№ 5. C. 42-45.
- 6. Остриков В.В., Зимин А.Г., Попов С.Ю., Сафонов В.В. Многофункциональная добавка к моторным маслам // Двигателестроение. 2014. № 2 (256). С. 32-34.
- 7. Андрюшкин А.Ю. Диспергирование жидкостей сверхзвуковым газодинамическим методом // Конструкции из композиционных материалов. 2011. № 3. С. 5-27.
- 8. Лаппо Н.М., Галаганова В.Н., Шишкина К.Н. Влияние ультразвука на жидкости // Сб. трудов конференции : Витебский ГТУ. 2017. С. 359-361.
- 9. Amanbaev T.R. Dynamics of a suspension in the presence of liquid filtration, disperse phase sedimentation, and precipitate formation processes // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. -2016. T.50. No. 3. C.303-315.
- 10. Базилевский А.В., Коротеев Д.А., Рожков А.Н., Скобелеева А.А. Седиментация частиц в сдвиговых потоках вязкоупругих жидкостей // Механика жидкости и газа. -2010. -№ 4. -C. 128-141.
- 11. Пат. 2123030 РФ, МПК<sup>6</sup> С10М 125/00, 10М 125:04, С10М 125:22, С10М 125:24, С10М 30:06. Смазочная композиция [Текст] / Сафонов В.В., Добринский Э.К., Буйлов В.Н., Семин А.Г., Митюшкин А.А., Венскайтис В.В.; заявитель и патентообладатель № 97116529/04; заявл. 07.10.1997; опубл. 10.12.1998, Бюл. № 34. 5 с.

#### References

- 1. Ostrikov V.V., Popov S.YU., Safonov V.V., Balabanov V.I. Mnogofunkcional'naya remontnovosstanovitel'naya smazochnaya kompoziciya // Nauka v central'noj Rossii. 2015. –№ 4 (16). S. 49-56.
- 2. Safonov V.V., SHishurin S.A., Aleksandrov V.A. Povyshenie effektivnosti ekspluatacii sel'skohozyajstvennoj tekhniki za schet primeneniya nanomaterialov. // Nanotekhnika. -2009. N 20. S. 79-80.
- 3. Safonov V.V., Aleksandrov V.A., Azarov A.S., SHishurin S.A. Primenenie nanomaterialov pri tekhnicheskom servise // Vestnik MGAU. 2009. № 3.(34) S. 62–66.
- 4. Balabanov V.I., Bolgov V.YU. Avtomobil'nye prisadki i dobavki: Monografiya / V.I. Balabanov, V.YU. Bolgov, M.: Izd-vo RGAU MSKHA imeni K.A. Timiryazeva, 2011. 225 s.
- 5. Zimin A.G., Popov S.YU., Ostrikov V.V., Safonov V.V. Povyshenie effektivnosti i rasshirenie mnogofunkcional'nyh svojstv remontno-vosstanovitel'nogo sostava // Traktory i sel'hozmashiny. -2014.  $-N_{2}$  5. S. 42-45.
- 6. Ostrikov V.V., Zimin A.G., Popov S.YU., Safonov V.V. Mnogofunkcional'naya dobavka k motornym maslam // Dvigatelestroenie.  $2014. N_{\rm o} \ 2 \ (256). {\rm S.} \ 32-34.$

- 7. Andryushkin A.YU. Dispergirovanie zhidkostej sverhzvukovym gazodinamicheskim metodom // Konstrukcii iz kompozicionnyh materialov. 2011. № 3. S. 5-27.
- 8. Lappo N.M., Galaganova V.N., SHishkina K.N. Vliyanie ul'trazvuka na zhidkosti // Sb. trudov konferencii.: Vitebskij GTU. 2017. S. 359-361.
- 9. Amanbaev T.R. Dynamics of a suspension in the presence of liquid filtration, disperse phase sedimentation, and precipitate formation processes // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. -2016. T.50. No.3. S.303-315.
- 10. Bazilevskij A.V., Koroteev D.A., Rozhkov A.N., Skobeleeva A.A. Sedimentaciya chastic v sdvigovyh potokah vyazkouprugih zhidkostej // Mekhanika zhidkosti i gaza. 2010. № 4. S. 128-141.
- 11. Pat. 2123030 RF, MPK6 C10M 125/00, 10M 125:04, C10M 125:22, C10M 125:24, C10N 30:06. Smazochnaya kompoziciya [Tekst] / Safonov V.V., Dobrinskij E.K., Bujlov V.N., Semin A.G., Mityushkin A.A., Venskajtis V.V.; zayavitel' i patentoobladatel' − № 97116529/04; zayavl. 07.10.1997; opubl. 10.12.1998, Byul. № 34. − 5 s.

#### Сведения об авторах

#### Принадлежность к организации

Сафонов Валентин Владимирович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова», Россия, г. Саратов, e-mail: nirm@sgau.ru.

Уткин Виктор Владимирович – магистрант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова», Россия, г. Саратов.

Сафонов Константин Валентинович – старший преподаватель Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова», Россия, г. Саратов.

Мухин Виктор Алексеевич – доктор технических наук, научный сотрудник Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова», Россия, г. Саратов.

Добринский Эдуард Константинович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории № 33 Государственного научного центра РФ Акционерного общества «Государственный Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт химии и элементоорганических соединений», г. Саратов.

Остриков Валерий Васильевич – доктор технических наук, врио директора Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

## Author credentials Affiliations

Safonov Valentin Vladimirovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saratov State Vavilov Agrarian University", Russia, Saratov, e-mail: nirm@sgau.ru.

Utkin Victor Vladimirovich – undergraduate of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saratov State Vavilov Agrarian University", Russia, Saratov.

Safonov Konstantin Valentinovich – Senior Lecturer of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saratov State Vavilov Agrarian University", Russia, Saratov.

Mukhin Viktor Alekseevich – Doctor of Technical Sciences, Research Fellow, of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saratov State Vavilov Agrarian University", Russia, Saratov.

Dobrinsky Eduard Konstantinovich - Candidate of Technical Sciences, leading researcher at State Scientific Research Institute of Chemistry and Technology of Organoelement Compounds, Russia, Saratov.

Ostrikov Valery Vasilievich – Doctor of Technical Sciences, Acting Director of Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture", Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Поступила в редакцию (Received): 30.10.2019 Принята к публикации (Accepted): 29.11.2019