УДК 621.899

DOI: 10.35887/2305-2538-2021-2-71-77

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СМАЗКИ,
МОДИФИЦИРОВАННОЙ МНОГОСЛОЙНЫМ ГРАФЕНОМ**¹Нагдаев Владимир Константинович¹Вязинкин Виктор Сергеевич¹Забродская Алла Владимировна^{1,2}Остриков Валерий Васильевич³Сафонов Валентин Владимирович⁴Першин Владимир Фёдорович¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт

использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

²ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»³ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»⁴ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат. При высоких нагрузках в изношенных механизмах смазка Литол-24 не всегда обеспечивает высокие противоизносные свойства, способствующие продлению сроков службы подшипников скольжения. С целью повышения эксплуатационных свойств проведены исследования по модификации смазки графенами и осуществлены сравнительные испытания на машине трения МИ-1М. Структура углеродной пленки определялась методом комбинационного рассеивания (КР) света на спектрометре DXR Raman Microscope Thermo Scientific. Установлено, что массовый износ деталей снижается на 43 % при переходе с товарной смазки Литол-24 на смазку, модифицированную графенами. Определено, что в спектре от углеродной пленки присутствуют приблизительно одинаковые по интенсивности G-линия – 1565 см^{-1} и D -линия – 1340 см^{-1} и мало интенсивная 2D- линия – 2700 см^{-1} . Данный спектр идентичен КР - спектру аморфного углерода. Перечисленные линии от металлической поверхности ролика в КР-спектре отсутствуют. В процессе испытания на машине трения пластической смазки Литол 24 с наполнителем из многослойного графена наблюдается разрушение структуры графена и преобразование его в аморфный углерод. В результате определения шероховатости ролика и толщины углеродной пленки профилометром установлено, что шероховатость поверхности с углеродной пленкой меньше по сравнению с чистой металлической поверхностью ролика: ($0,176 - 0,168 = 0,008\text{ мкм}$) и ($0,566 - 0,485 = 0,071\text{ мкм}$), глубина впадин профиля на поверхности с углеродной пленкой уменьшилась на $0,116\text{ мкм}$. Высота выступов профиля на поверхности с углеродной пленкой увеличилась на $0,161\text{ мкм}$. При этом определено расчетным путем, что ориентировочная толщина углеродной пленки составляет $0,138\text{ мкм}$. На основании проведенных исследований можно утверждать, что модификация товарной смазки Литол-24 графенами способствует образованию защитной противоизносной пленки на поверхности трения, тем самым снижая износ и увеличивая срок службы деталей машины.

Ключевые слова: пластичная смазка, модификация, графены, машина трения, износ, углеродная пленка, спектр, профиль.

RESULTS OF STUDIES OF A LUBRICANT MODIFIED WITH MULTI-LAYER GRAPHENE¹Nagdaev Vladimir¹Vyazinkin Viktor¹Zabrodskaia Alla^{1,2}Ostrikov Valery³Safonov Valentin⁴Pershin Vladimir¹FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"²FSBEI HE "Michurinsky State Agrarian University"³FSBEI HE "Saratov State Vavilov Agrarian University"⁴FSBEI HE "Tambov state technical university"

Abstract. *Litol-24 grease does not always provide high antiwear properties that contribute to the prolongation of the service life of plain bearings at high loads in worn mechanisms. Studies on the modification of grease with graphenes were carried out in order to improve the operational properties and comparative tests on a MI-1M friction machine were carried out. Структура углеродной пленки определялась методом комбинационного рассеивания (КР) света на спектрометре DXR Raman Microscope Thermo Scientific. Установлено, что массовый износ деталей снижается на 43 % при переходе с товарной смазки Литол-24 на смазку, модифицированную графенами. Определено, что в спектре от углеродной пленки присутствуют приблизительно одинаковые по интенсивности G-линия – 1565 см^{-1} и D-линия – 1340 см^{-1} и мало интенсивная 2D-линия – 2700 см^{-1} . This spectrum is identical to the Raman spectrum of amorphous carbon. The listed lines from the metal surface of the roller are absent in the Raman spectrum. The destruction of the graphene structure and its transformation into amorphous carbon is observed during testing on a friction machine for Litol 24 grease filled with multilayer graphene. As a result of determining the roughness of the roller and the thickness of the carbon film with a profilometer, it was found that the surface roughness with a carbon film is less compared to the clean metal surface of the roller: $(0.176 - 0.168 = 0.008\text{ }\mu\text{m})$ and $(0.566 - 0.485 = 0.071\text{ }\mu\text{m})$, the depth of the profile depressions on the surface with a carbon film decreased by 0.116 microns. The height of the profile protrusions on the surface with the carbon film increased by $0.161\text{ }\mu\text{m}$. At the same time, it was determined by calculation that the approximate thickness of the carbon film is 0.138 microns. It can be argued on the basis of the studies that the modification of commercial Litol-24 grease with graphenes promotes the formation of a protective antiwear film on the friction surface, thereby reducing wear and increasing the service life of machine parts.*

Keywords: *grease, modification, graphenes, friction machine, wear, carbon film, spectrum, profile.*

Введение. Пластичная смазка Литол-24, используемая в узлах трения сельскохозяйственной техники обладает рядом преимуществ по сравнению со смазкой Солидол – Ж [1]. При этом на протяжении последних 10 лет учеными и разработчиками пластичных смазок ведутся исследования по повышению эксплуатационных свойств смазки Литол-24 [2, 3]. Представляет интерес возможность увеличения противоизносных свойств смазки, модифицированной наноструктурированными добавками металлов, их сплавов и т.д. [4, 5].

Особенно следует отметить развитие направления по использованию графенов в качестве добавки к смазке, способствующей при определенных условиях формировать на поверхности трения противоизносную пленку [6, 7].

Целью работы является повышение противоизносных свойств товарной смазки для продления сроков службы узлов трения сельскохозяйственной техники.

Методика проведения исследований. Сравнительные испытания исследуемых смазочных материалов проводили на машине трения МИ-1М (рисунок 1).

- 1 – нижний ролик; 2 – верхний ролик; 3 – шпиндель; 4 – вал каретки; 5 – корпус каретки;
6 – электродвигатель; 7 – блок зубчатых колес; 8, 10 – валы; 9 – зубчатое колесо с внутренним зацеплением; 11 – маятник; 12 – грузы; 13, 14 – зубчатые колеса; 15 – маркер;
16 – миллиметровая бумага; 17 – нагрузочное устройство.

Рисунок 1 – Кинематическая схема машины трения МИ-1М

Перед проведением испытаний машину трения тарировали по нагрузке и моменту трения. Оценку процессов, происходящих при взаимодействии пар трения проводили на элементах «ролик – ролик» (рисунок 2), изготавливаемых из стали ШХ-15.

1 – верхний ролик; 2 – нижний ролик; 3 – ёмкость с испытуемым смазочным материалом

Рисунок 2 – Схема контактирования пары трения «ролик – ролик»

Параметры роликов составляют: ширина верхнего ролика – 10 мм, нижнего – 12 мм, наружный диаметр – 50 мм, шероховатость поверхностей трения $R_a = 0,8$ мкм, твердость – 60 – 62 HRC. Для получения более достоверных результатов ролики предварительно проходили процесс приработки на смазке Литол-24 в течение 3 часов. Приработанные ролики погружали на 1/3 диаметра в смазочную ванну со смазкой. Далее проводили приработку при температуре среды 20 – 23 °С, частоте вращения ролика – 500 мин⁻¹. Нагрузочный режим регулировался от 0 до 0,25 кН. При этом время работы под нагрузкой насчитывало 0,5 ч на каждой ступени. Оценкой эффективности приработки являлось значение стабилизации момента трения. Приработанные ролики промывали в бензине для удаления смазки. После чего их высушивали, время сушки составляло 24 часа. Далее ролики взвешивали на аналитических весах HR-250AZG с точностью до 0,1 мг.

Подготовленный к испытаниям ролик устанавливался в крепление машины трения, проводилась его обработка исследуемым составом модифицированной смазки. Износ поверхностей трения определялся простым взвешиванием на аналитических весах. Запуск машины трения проводили при нулевой нагрузке. После чего увеличивали нагрузку до выбранного значения. Время процесса составляет 2 – 5 минут, а общая продолжительность испытаний заняла 6 часов. После завершения процесса испытаний ролики вновь промывались и взвешивались.

Изменение температуры на поверхностях трения контролировалось прибором MS 6530. Момент силы трения регистрировался автоматически.

Результаты и их обсуждение. После испытаний ролик имел следующий вид (рисунок 3 а, б).

а) увеличение x1

б) увеличение в100 раз

Рисунок 3 – внешний вид ролика после испытаний

В таблице 1 представлены результаты сравнительных испытаний смазок.

Таблица 1 – Результаты сравнительных испытания пластической смазки Литол-24, модифицированной графенами (пара трения ролик – ролик, нагрузка 250 Н, время испытания – 6 часов)

Образец	Момент силы трения (условные единицы)	Температура поверхности трения (нижний ролик), °C	Износ, мг
Литол 24 (№1)	5,5 – 6,3	20 - 48	0,0138
Литол + графен (№2)	5,8 – 4,5	20 - 40	0,0079
Литол + карбамид (№3)	6,5 -4,5	20 - 40	0,0090

Анализируя полученные результаты испытаний, следует отметить, что образец № 2 имеет превосходные характеристики. После испытаний на поверхности металла образовалась прочная углеродная пленка темного цвета. Структуру углеродной пленки определяли методом комбинационного рассеяния (КР) света. Спектры снимались на КР спектрометре DXR Raman Microscope Thermo Scientific (длина волны лазера $\lambda = 532$ нм), рисунок 4 а, б.

а)

б)

Рисунок 4: а – КР спектр поверхности ролика с углеродной пленкой;
б – КР спектр поверхности ролика без углеродной пленки

В спектре с углеродной пленкой (рисунок 4а) присутствуют приблизительно одинаковые по интенсивности G-линия – 1565 см^{-1} и D -линия – 1340 см^{-1} и мало интенсивная 2D- линия – 2700 см^{-1} . Данный спектр идентичен КР спектру аморфного углерода. В спектре от металлической поверхности ролика (рисунок 4б) перечисленные линии КР спектра отсутствуют. В ходе испытания на машине трения пластической смазки Литол 24 с наполнителем многослойный графен произошло разрушение структуры графена и преобразование его в аморфный углерод. Микрофотография исследованной поверхности ролика с углеродной пленкой приведена на рисунке 5.

Рисунок 5 – Поверхность ролика с углеродной пленкой на спектрометре DXR Raman Microscope Thermo Scientific (увеличение в 600 раз)

Определение шероховатости ролика и толщины углеродной пленки осуществлялось профилометром модели 130. Результаты исследования представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты исследования шероховатости чистой металлической поверхности ролика и поверхности ролика с углеродной пленкой

Параметры профиля поверхности, мкм	R_a	R_{max}	R_z	Rvk глубина впадин	R_{max} впадин	Rpk высота выступов	R_{max} выступов
Металлическая поверхность ролика	0,176	1,15	0,566	0,858	0,451	0,493	0,689
Углеродная пленка на металлической поверхности ролика	0,168	0,86	0,485	0,742	0,348	0,654	0,512

Шероховатость поверхности с углеродной пленкой меньше, по сравнению с чистой металлической поверхностью ролика: $(0,176 - 0,168 = 0,008\text{ мкм})$ и $(0,566 - 0,485 = 0,071\text{ мкм})$. Глубина впадин профиля на поверхности с углеродной пленкой уменьшилась на 0,116 мкм $(0,858 - 0,742)$. Высота выступов профиля на поверхности с углеродной пленкой увеличилась на 0,161 мкм $(0,654 - 0,493)$. Приблизительная толщина углеродной пленки $(0,116 + 0,161):2 = 0,138\text{ мкм}$ (138 нм).

Закключение. В результате исследований установлено, что модификация товарной пластичной смазки многослойным графеном позволяет повысить эксплуатационные характеристики смазки Литол-24 и в первом приближении утверждать о возможности снижения износа поверхности трения подшипников качения и скольжения.

Список литературы

1. Школьников В.М. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение. – Москва: Техинформ, 1999. – 596 с.
2. Савин Л.А., Степанов Ю.С., Корнаев А.В. Перспективы разработки энергоэффективной гибридной гидродинамической смазки на основе наноматериалов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2014. – № 6 (308). – С. 60 – 69.
3. Теоретические аспекты эффективности модификации пластических смазок графитовыми наполнителями и их работы в механизмах / Остриков В.В., Вигдорович М.В., Сазонов С.Н., Забродская А.В. // Наука в центральной России. – 2020. – № 3 (45). – С. 97 – 103.
4. Балабанов В.И., Лехтер В.В. Триботехнические исследования металлоплакирующих пластичных смазок // Наука в центральной России. – 2019. – № 4 (40). – С. 108 – 114.
5. Сафонов В.В., Азаров А.С. Трибологические свойства модификаций пластичных смазок // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2019. – № 4. – С. 39 – 41.
6. Першин В.Ф., Аль-Саади Д.А.Ю., Салимов Б.Н. Перспективы улучшения эксплуатационных характеристик графитных смазок за счет механоактивации в планетарных мельницах // European Research. – 2015. – № 10 (11). – С. 28 – 30.
7. Multilayer graphene as a lubricating additive in dentone crease / Fan X., Xia Y., Wang L, Li W. // Tribol Lett. – 2014. – Vol 55. – Pp.455 – 464.

References

1. SHkol'nikov V.M. Topliva, smazochnye materialy, tekhnicheskie zhidkosti. Assortiment i primeneniye. – Moskva: Tekhinform, 1999. – 596 s.
2. Savin L.A., Stepanov YU.S., Kornaeve A.V. Perspektivy razrabotki energoeffektivnoj gibridnoj gidrodinamicheskoy smazki na osnove nanomaterialov // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2014. – № 6 (308). – S. 60-69.
3. Teoreticheskie aspekty effektivnosti modifikatsii plasticheskikh smazok grafitovymi napolnitelyami i ih raboty v mekhanizmah / Ostrikov V.V., Vigdorovich M.V., Sazonov S.N., Zabrodskaya A.V. // Nauka v central'noj Rossii. – 2020. – № 3 (45). – S. 97 – 103.
4. Balabanov V.I., Lekhter V.V. Tribotekhnicheskie issledovaniya metalloplakiruyushchih plastichnyh smazok // Nauka v central'noj Rossii. – 2019. – № 4 (40). – S. 108-114.
5. Safonov V.V., Azarov A.S. Tribologicheskie svoystva modifikatsiy plastichnyh smazok // Mekhatronika, avtomatika i robototekhnika. – 2019. – № 4. – S. 39-41.
6. Pershin V.F., Al'-Saadi D.A.YU., Salimov B.N. Perspektivy uluchsheniya ekspluatatsionnyh harakteristik grafitnyh smazok za schet mekhanoaktivatsii v planetarnykh mel'nicah // European Research. – 2015. – № 10 (11). – S. 28-30.
7. Multilayer graphene as a lubricating additive in dentone crease / Fan X., Xia Y., Wang L, Li W. // Tribol Lett. – 2014. – Vol 55. – Rp.455–464.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Нагдаев Владимир Николаевич – кандидат химических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Вязинкин Виктор Сергеевич – научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Забродская Алла Владимировна – научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

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.

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: safonow2010sgau@yandex.ru.

Першин Владимир Федорович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: pershinhome@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Nagdaev Vladimir – Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher 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.

Vyazinkin Viktor – Researcher 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.

Zabrodsкая Alla – Researcher 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.

Ostrikov Valery Vasilievich – Full 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.

Safonov Valentin – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Saratov State Vavilov Agrarian University”, Russia, Saratov, e-mail: safonow2010sgau@yandex.ru.

Pershin Vladimir – Full Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: pershinhome@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 02.03.2021 Принята к публикации (Accepted): 14.04.2021

УДК 621.892

DOI: 10.35887/2305-2538-2021-2-77-83

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДИСПЕРГИРУЮЩИХ СВОЙСТВ МОТОРНОГО МАСЛА

^{1,2}Остриков Валерий Васильевич

¹Вигдорович Михаил Владимирович

¹Нагдаев Владимир Константинович

³Оробинский Владимир Иванович

³Афоницев Дмитрий Николаевич

¹Забродская Алла Владимировна

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

²ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»

³ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»

Реферат. Установлено, что по мере изменения количества диспергирующей присадки в масле снижаются эксплуатационные характеристики двигателя и срок службы масла до замены. Но простые и эффективные методы определения диспергирующих свойств в условиях эксплуатации отсутствуют. Закономерности изменения концентрации присадок в моторном масле основаны на законах химической кинетики. В результате теоретического анализа, базирующегося на известных данных, получена зависимость изменения диспергирующих свойств масла от содержания загрязняющих примесей и дифференциальное уравнение, описывающее процесс. Математический анализ привел к выражению, описывающему изменения количества присадки в масле с учетом непрерывного угара и долива, зависящего от времени. Относительно