

6. Азаров, А. С. Комплексное использование наноразмерных порошков металлов и полититаната калия в составе пластичной смазки как способ повышения износостойкости поверхностей трения / А. С. Азаров, В. В. Сафонов, А. В. Гороховский, А. И. Палагин // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники : мат. Международного науч.-техн. семинара им. В. В. Михайлова. – Саратов : ФГБОУ ВПО Саратовский ГАУ, 2013. – Вып. 26. – С. 6-9.

7. Сафонов, В. В. Оценка эффективности применения нанокomпонентной смазочной композиции при эксплуатации насосных агрегатов оросительных систем / В. В. Сафонов, Э. К. Добринский, В. В. Соколов, А. С. Азаров // Научное обозрение. – 2014. – №4. – С. 74-79.

УДК 621.892.84

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОТИВОИЗНОСНЫХ И АНТИФРИКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК ПОСРЕДСТВОМ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАЗМООБРАБОТАННОГО ГРАФИТА

**Терентьев Владимир Викторович**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технический сервис и механика», ФГБОУ ВПО Ивановская ГСХА им. академика Д. К. Беляева.

153012, г. Иваново, ул. Советская, 45.

E-mail: [vladim-terent@yandex.ru](mailto:vladim-terent@yandex.ru)

**Наумова Ирина Константиновна**, канд. хим. наук, доцент кафедры «Химия», ФГБОУ ВПО Ивановская ГСХА им. академика Д. К. Беляева.

153012, г. Иваново, ул. Советская, 45.

E-mail: [rektorat@ivgsha.ru](mailto:rektorat@ivgsha.ru)

**Баусов Алексей Михайлович**, д-р техн. наук, проф. кафедры «Технический сервис и механика», ФГБОУ ВПО Ивановская ГСХА им. академика Д. К. Беляева.

153012, г. Иваново, ул. Советская, 45.

E-mail: [rektorat@ivgsha.ru](mailto:rektorat@ivgsha.ru)

**Телегин Игорь Михайлович**, аспирант кафедры «Технический сервис и механика», ФГБОУ ВПО Ивановская ГСХА им. академика Д. К. Беляева.

153012, г. Иваново, ул. Советская, 45.

E-mail: [rektorat@ivgsha.ru](mailto:rektorat@ivgsha.ru)

**Галкин Игорь Михайлович**, аспирант кафедры «Технический сервис и механика», ФГБОУ ВПО Ивановская ГСХА им. академика Д. К. Беляева.

153012, г. Иваново, ул. Советская, 45.

E-mail: [rektorat@ivgsha.ru](mailto:rektorat@ivgsha.ru)

**Ключевые слова:** плазма, износ, смазка, присадка, графит.

*Цель исследований – улучшение трибологических показателей серийных пластичных литиевых смазок, используемых в узлах трения сельскохозяйственных машин. В статье представлены результаты экспериментальных исследований антифрикционных и противоизносных свойств пластичных смазочных материалов с присадками в виде графита, модифицированного плазмохимическим методом. Для модифицирования графита использовались два типа разряда: подводный диафрагменный разряд и тлеющий разряд атмосферного давления. В результате плазменной активации происходит модифицирование поверхности графита, приводящее, в частности, к изменению его свойств. Поверхностное модифицирование вызвано действием компонентов плазмохимического разряда. Иницирование плазмы в растворе приводит к генерации активных частиц, УФ-излучению, а также к механической активации раствора. Возникающие в объеме конвективные потоки способствуют быстрому переносу активных частиц и реагентов в жидкой фазе. При этом, активные частицы, взаимодействуя с поверхностью графита, изменяют ее характеристики. В результате модифицирования изменяется заряд на поверхности графита и улучшается его смачиваемость. Трибологические исследования проводились на машине трения. Установлено, что введение в качестве присадки к литиевым смазкам графита, модифицированного плазмохимическим способом, снижает коэффициент трения в 1,95-2,67 раза и позволяет уменьшать потери на трение в трибосопряжениях. Износ элементов пар трения снижается в 1,25-1,64 раза, что позволяет в дальнейшем увеличить ресурс деталей пар трения сельскохозяйственных машин и оборудования. Перспективным является использование для модифицирования графита плазмы подводного диафрагменного разряда. Использование плазмы тлеющего разряда атмосферного давления, зажигаемого над поверхностью жидкости, к значительному улучшению трибологических характеристик не привело. Полученные результаты показывают перспективность использования графита, модифицированного плазмохимическим способом, в качестве антифрикционной и противоизносной присадки к пластичным смазкам на литиевой основе.*

Эффективное решение задачи обеспечения высокой надежности триботехнических сопряжений возможно без применения высокоэффективных смазочных материалов. Особенно актуально это в современных машинах и оборудовании, работающих в условиях повышенных нагрузок.

Эффективность работы смазочного материала в основном определяется его антифрикционными и противоизносными характеристиками.

Улучшение характеристик смазочных материалов достигается за счет введения в их состав различных химических соединений, каждое из которых позволяет улучшать те или иные свойства. Однако, как показывает практика, недостаточно максимально улучшать какую-либо из характеристик – необходимо улучшение сразу комплекса свойств.

Известно, что эффективной антифрикционной присадкой к смазочным материалам является мелко-дисперсный графит, который при введении его в смазку ввиду своего химического строения позволяет существенно снижать трение в плоскостях, по направлению движения элементов трибосопряжения. Однако введение графита в смазки без дополнительного модифицирования недостаточно эффективно, особенно в условиях высоких контактных напряжений (характерных для многих трибосопряжений сельскохозяйственной техники).

Исследования, проведенные ранее авторами, указывают на перспективность использования в качестве модифицирования графита плазмы низкого давления [1].

Применение плазмы тлеющего разряда воздуха позволяет улучшать связь графита с рядом термо-реактивных полимеров при изготовлении подшипников скольжения, за счет чего наблюдается снижение коэффициента трения в трибосопряжениях «сталь-полимер».

Применение плазмы тлеющего разряда низкого давления при модифицировании элементов смазочных композиций также перспективно [2-4].

**Цель исследований** – улучшение трибологических показателей серийных пластичных литиевых смазок, используемых в узлах трения сельскохозяйственных машин.

**Задача исследований** – изучение влияния введения графита, модифицированного в плазменно-растворных системах [5-7], на трибологические показатели серийных пластичных литиевых смазок (литол-24). При этом в качестве воздействующего (модифицирующего) фактора использовалась плазма подводного диафрагменного разряда и тлеющего разряда атмосферного давления.

**Материалы и методы исследований.** В экспериментах применялись непроточные плазмохимические ячейки объемом 100 мл, при этом конструкция установки предусматривала термостатирование раствора.

Для модифицирования графита использовались два типа разряда: подводный диафрагменный и тлеющий разряд атмосферного давления, горящий непосредственно над поверхностью электролита.

Для зажигания диафрагменного разряда в качестве электродов использовались графитовые стержни диаметром 5 мм, диаметр диафрагмы составлял 0,5 мм, ток разряда – 100 мА, напряжение горения разряда – 400 В.

Также в качестве источника активирующего воздействия использовался тлеющий разряд атмосферного давления с электролитным катодом, зажигаемый над поверхностью жидкости. В качестве анода выступала платиновая проволока, расстояние от анода до поверхности раствора – 3 мм. Ток разряда составлял 30-50 мА, напряжение – 1,8 кВ.

Фотографии экспериментальных ячеек представлены на рисунке 1.



а) тлеющий разряд



б) диафрагменный разряд

Рис. 1. Экспериментальные ячейки

Обработка графита проводилась в плазменно-растворных ячейках, соответствующих типу разряда (рис. 1). Предварительно графит смешивали с дистиллированной водой и добавляли хлорид натрия до обеспечения требуемой проводимости. Полученную суспензию обрабатывали разрядом в течение 10 мин, после чего отфильтровывали и высушивали в естественных условиях. Далее графит вводился в определенном процентном соотношении в пластичную смазку литол-24 и проводилась серия трибологических испытаний.

Трибологические исследования проводились на машине трения 2070 СМТ-1, по схеме «вращающийся диск – неподвижный шар». Условия эксперимента: частота вращения диска – 500 мин<sup>-1</sup>, диаметр диска –

40 мм, материал пары трения – диск – сталь 45 с твердостью 60 HRC, шар – сталь ШХ-15. Нагружение на образцы 200 Н. Пробег при каждой нагрузке составлял 1 км. Перед приложением нагрузки на диск однократно наносился смазочный материал, что определяло граничный режим смазки. Для оценки противоизносных свойств изучаемых присадок замерялось пятно износа на шаре и ширина дорожки трения на ролике с помощью микроскопа МПБ-2.

**Результаты исследований.** Результаты экспериментов показали, что при газоразрядной активации происходит модифицирование поверхности графита, приводящее, в частности, к изменению его когезионных свойств. Поверхностное модифицирование вызвано, как полагают авторы, действием компонентов разряда [8-9]. Так, иницирование плазмы в растворе приводит к генерации активных частиц, УФ-излучению, а также к механической активации раствора. Возникающие в объеме конвективные потоки способствуют быстрому переносу активных частиц и реагентов в объем жидкой фазы.

При этом, активные частицы, взаимодействуя с поверхностью графита, изменяют ее поверхностные свойства, меняя, тем самым, физико-химические характеристики поверхности материала. Так, в результате модифицирования изменяется заряд на поверхности графита и улучшается его смачиваемость.

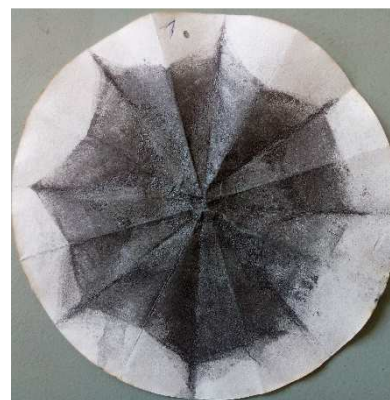
При этом модифицируется только поверхностный слой графита без изменения его объемных характеристик.

Изменение смачиваемости графита после плазмохимической обработки было отмечено при фильтрации водно-графитовой суспензии.

Фотографии фильтров после фильтрации суспензий с графитом без обработки и плазмомодифицированным графитом представлены на рисунке 2.



а) графит без обработки



б) модифицированный графит

Рис. 2. Поверхности фильтров после фильтрации водно-графитовой суспензии

Как показывают результаты (рис. 2), после плазмохимической обработки графит более равномерно распределяется по поверхности фильтра, что говорит о его более высокой реакционной способности после газоразрядной обработки.

Таким образом, можно предположить, что повышение реакционной способности поверхности графита после плазмохимической обработки позволит при введении графита в пластичные смазки улучшить его связь с компонентами самой смазки, что в дальнейшем может привести к более эффективной работе самого графита, как противоизносного и антифрикционного компонента смазочного материала.

Результаты определения антифрикционных свойств (коэффициента трения), а также износа элементов пары трения при их смазывании пластичной смазкой литол-24, а также композиций на основе литол-24 с графитом представлены на рисунке 3.

Результаты трибологических исследований полученных смазочных материалов показывают, что плазмохимическое модифицирование поверхности вводимых компонентов позволяет улучшить как антифрикционные, так и противоизносные характеристики пластичной смазки литол-24. При этом более эффективным для поверхностного модифицирования графита является использование плазмы диафрагменного разряда. Коэффициент трения по сравнению с чистым литолом снижается в 2,67 раза, износ подвижного образца (ролика) снижается в 1,44 раза, износ неподвижного образца (шара) снижается в 1,64 раза. По сравнению с композицией, где в качестве присадки используется необработанный графит, снижение коэффициента трения составило 1,95 раза, износ подвижного образца (ролика) снизился в 1,25 раза, износ неподвижного образца (шара) – в 1,46 раза.

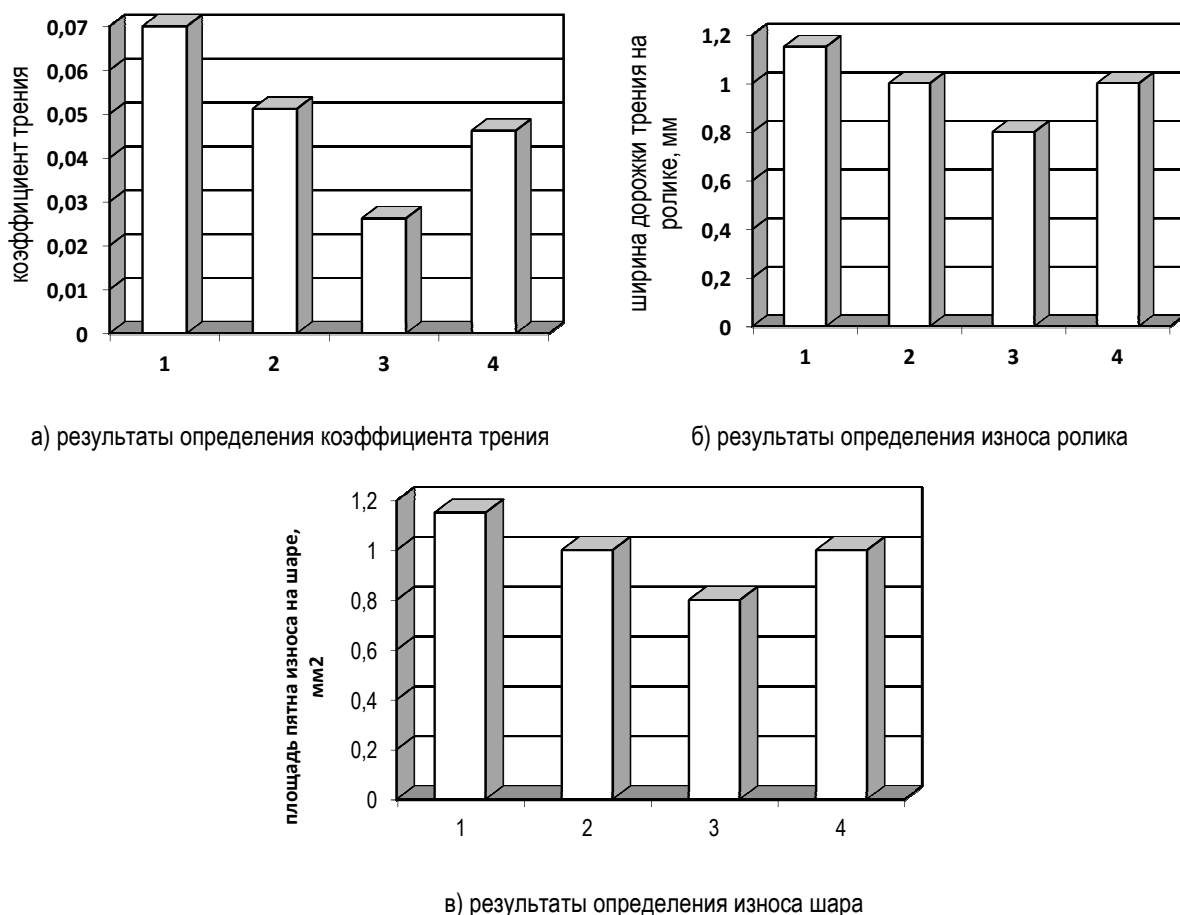


Рис. 3. Результаты трибологических исследований смазочных композиций: 1 – литол-24 без добавок; 2 – литол-24 + графит без обработки; 3 – литол-24 + графит, плазмообработанный в плазме диафрагменно-го разряда; 4 – литол-24 + графит, плазмообработанный в плазме тлеющего разряда.

Обработка графита в плазме тлеющего разряда приводит к незначительному изменению трибологических характеристик (по сравнению с композицией, где в качестве присадки используется необработанный графит, снижение коэффициента трения составило 10%, износ элементов пары трения не изменился).

**Заключение.** Таким образом, можно отметить перспективность обработки графита в плазме диафрагменного разряда атмосферного давления и использования в дальнейшем модифицированного графита в качестве антифрикционной и противоизносной присадки к пластичным смазкам на литиевой основе.

#### Библиографический список

1. Терентьев, В. В. Исследование триботехнических свойств полимерных материалов с наполнителями, обработанными плазмой тлеющего разряда : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.04 / Терентьев Владимир Викторович. – Иваново, 2001. – 148 с.
2. Терентьев, В. В. Исследование свойств наполнителей на основе плазмообработанного фторопласта для консистентных смазочных материалов / В. В. Терентьев, Г. М. Любина // Труды третьей Международной заочной молодежной научно-технической конференции. – Ульяновск : УЛГТУ, 2006. – С. 160-162.
3. Терентьев, В. В. Улучшение триботехнических характеристик материалов пар трения и смазок путем модификации плазмой тлеющего разряда / В. В. Терентьев, А. В. Крупин, Б. Л. Горберг // Материаловедение и надежность триботехнических систем : сб. науч. тр. / под ред. В. А. Годлевского, Б. Р. Киселева. – Иваново, 2009. – С. 69-74.
4. Терентьев, В. В. Улучшение свойств смазочных материалов путем их наполнения плазмообработанными элементами / В. В. Терентьев, А. М. Баусов, А. В. Крупин // Научное обозрение. – 2010. – №6. – С. 39-42.
5. Кутепов, А. М. Вакуумно-плазменное и плазменно-растворное модифицирование полимерных материалов / А. М. Кутепов, А. Г. Захаров, А. И. Максимов. – М. : Наука, 2004. – 496 с.
6. Стройкова, И. К. Химическая активация водных растворов электролитов тлеющим и диафрагменным газовыми разрядами : дис. ... канд. хим. наук : 02.00.04 / Стройкова Ирина Константиновна. – Иваново, 2001. – 153 с.
7. Максимов, А. И. Сопоставление возможностей плазменного и плазменно-растворного модифицирования полимерных материалов в жидкой фазе / А. И. Максимов, А. Ю. Никифоров // Химия высоких энергий. – 2007. – Т. 41, №6. – С. 513.

8. Кузьмичева, Л. А. Генерация химически активных частиц в растворах электролитов под действием тлеющего и диафрагменного разрядов / Л. А. Кузьмичева, Ю. В. Титова, А. И. Максимов // Химия Высоких Энергий. – 2007. – Т. 43, №2. – С. 20.

9. Piskarev, I. M. Formation of active species in spark discharge and their possible use / I. M. Piskarev, I. P. Ivanova, S. V. Trofimova, N. A. Aristova // High Energy Chemistry. – 2012. – Vol. 46, №5. – P. 343.

УДК 631.171

## **ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СХЕМ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СТЕНДОВ ДЛЯ ОБКАТКИ И ИСПЫТАНИЙ АВТОТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ**

**Иншаков Александр Павлович**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Мобильные энергетические средства», ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарёва.

430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68.

E-mail: [kafedra\\_mes@mail.ru](mailto:kafedra_mes@mail.ru)

**Байков Дмитрий Владимирович**, аспирант кафедры «Электроника и нанoeлектроника», ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарёва.

430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68.

E-mail: [bdv2304@mail.ru](mailto:bdv2304@mail.ru)

**Кувшинов Алексей Николаевич**, канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры «Мобильные энергетические средства», ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарёва.

430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68.

E-mail: [mesmgu@mail.ru](mailto:mesmgu@mail.ru)

**Курбаков Иван Иванович**, канд. техн. наук, преподаватель кафедры «Мобильные энергетические средства», ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарёва.

430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68.

E-mail: [ivankurbakov@mail.ru](mailto:ivankurbakov@mail.ru)

**Ключевые слова:** дизельный, двигатель, асинхронный, обкаточно-тормозной, стенд, преобразователь.

*Цель исследования – повышение качества приработки и обкатки автотракторных дизелей за счет применения в конструкции стендов рекуперативных преобразователей частоты с асинхронным электродвигателем и современных энергоэффективных алгоритмов управления ими. Такая конструкция испытательных стендов способна обеспечить полную рекуперацию электрической энергии в промышленную сеть в режиме горячей обкатки, что способствует повышению энергетической эффективности и снижению потребления электроэнергии. Кроме того, рекуперативный электропривод обеспечивает поддержание момента и скорости относительно друг друга во всех режимах работы и способствует расширению диапазона регулирования скорости вращения асинхронного двигателя, что позволяет в режиме холодной обкатки дизелей повысить качество приработки испытуемого двигателя, начиная плавную обкатку с низких оборотов (не менее 50 об/мин). В ходе исследования были выявлены положительные и отрицательные качества современных конструкций обкаточно-тормозных стендов, что позволило оценить существующие проблемы и обозначить ряд задач, решение которых приведет к устранению проблемных зон при разработке новых энергоэффективных конструкций испытательных стендов и модернизации существующих.*

Быстрый темп развития техники повысил потребность в высокоэффективных, долговечных и надежных двигателях внутреннего сгорания (ДВС) и дизелях [1, 2, 3]. В настоящее время дизельный двигатель – это основная энергетическая установка мобильных машин, используемых в сельскохозяйственном производстве [4]. Уровень мощности, надежности, экономичности и экологичности являются главными характеристиками их конкурентоспособности. Определение данных потребительских свойств ДВС неразрывно связано с созданием, модернизацией и совершенствованием испытательных обкаточно-тормозных стендов (ОТС), широко применяемых в научно-исследовательских центрах и лабораториях, автосервисах и крупных дилерских станциях [5]. Поэтому одним из важных элементов при разработке, изготовлении и ремонте ДВС является процесс испытаний, проводимых для экспериментального определения количественных и качественных свойств двигателя. Так, например, качественная послеремонтная обкатка способна увеличить ресурс обкатываемых агрегатов более чем на 70% [6].

Необходимо отметить, что в современных условиях энергосбережения важными остаются вопросы выбора конструктивных схем и алгоритмов управления при проведении обкатки автотракторных ДВС [7]. В связи с этим, современные ОТС обязаны удовлетворять требованиям регламента испытаний, управляемости и энергосбережения [8]. Стенд должен обеспечивать возможность работы в режимах холодной и горячей обкатки с нагрузкой и без. В первом случае электродвигатель должен работать в двигательном режиме, а во втором – в генераторном.